

Kaz Dağı civarındaki Kazdağ Masifi metamorfitlelerinin metamorfizma özellikleri, Edremit - Balıkesir

Metamorphism characteristics of Kazdağ Massif metamorphites around Kaz Mountain, Edremit - Balıkesir

Gürsel KANSUN *¹ , Gülçin ÖKMEN² 

¹ Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 42250, Konya

² Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 42250, Konya

• Geliş tarihi / Received: 16.03.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 28.07.2023

Öz

Kazdağ Masifi, amfibollü gnayslar, mikaşistler ve metakarbonatlardan oluşan Fındıklı formasyonu ile başlar. Üstte tektonik dokanakla, amfibolit ve metaofiyolitlerden yapılu Tozlu formasyonu ve kristalize kireçtaşlarından oluşan Sarıkız formasyonu gözlenir. En üstte, yine tektonik bir dokanakla, çoğunlukla gnayslardan yapılu Sütüven formasyonu yer alır. Kazdağ Masifi başlangıçta, etkileri Fındıklı ve Sütüven formasyonlarında izlenen, epidot-amfibolit fasiyesinden (430-500 °C sıcaklık - 5-8 kbar basınç) amfibolit fasiyesinin staurolit-almandin alt fasiyesi'ne (550-625 °C sıcaklık - 5-8 kbar basınç - 20-30 km derinlik) doğru ilerleyen metamorfizmaya uğramıştır. Tozlu formasyonunda başlangıçta amfibolit fasiyesinde metamorfizma izlenir. Masif, daha sonra, etkileri Fındıklı ve Sütüven formasyonlarında izlenen, 650-725 °C sıcaklık - 3-6 kbar basınç ve 10-20 km derinlikte, üst amfibolit fasiyesinin sillimanit-almandin-ortoklas alt fasiyesi'nde ilerleyen metamorfizmaya uğramıştır. Bu ikinci metamorfizma etkileri Tozlu formasyonunda gözlenmemektedir. Dolayısıyla, Tozlu formasyonunun amfibolit fasiyesindeki başlangıç metamorfizması, farklı bir ortamda gelişmiştir. Tozlu formasyonu Kazdağ Masifi içerisinde ayrı bir tektonik dilimdir. Tozlu formasyonunun Kazdağ Masifi içerisine yerleşmesi, dolayısıyla Kazdağ Masifi'nin kendi içerisinde tektonik dilimlenmesi, üst amfibolit fasiyesindeki ikinci metamorfizma evresinden sonra olmalıdır. Bu tektonik dilimlenmeden sonra, Masif'in tümü 375-430 °C sıcaklık - 2-3.5 kbar basınç ve ~10 km derinlikte yeşilist fasiyesinde gerileyen metamorfizmaya uğramıştır.

Anahtar kelimeler: Kazdağ Masifi, Polimetamorfizma, Porfiroblast-foliasyon ilişkisi

Abstract

The Kazdağ Massif begins with Fındıklı formation, which consists of amphibole gneisses, micaschists and metacarbonates. On top, with a tectonic contact, Tozlu formation consisting of amphibolites and metaophiolites and Sarıkız formation consisting of crystallized limestones are observed. At the top, again with a tectonic contact, Sütüven formation, which is mostly made of gneisses, is located. Initially, Kazdağ Massif was exposed to a progressive metamorphism from epidote-amphibolite facies (430-500 °C temperature - 5-8 kbar pressure) to staurolite-almandine sub-facies of amphibolite facies (550-625 °C temperature - 5-8 kbar pressure - 20-30 km depth) whose effects are observed in Fındıklı and Sütüven formations. In the Tozlu formation, the metamorphism is initially observed in amphibolite facies. Later, the Massif underwent the progressive metamorphism in the sillimanite-almandine-orthoclase sub-facies of the upper amphibolite facies at 650-725 °C temperature - 3-6 kbar pressure and at 10-20 km depth. This metamorphism is observed in Fındıklı and Sütüven formations. These second metamorphism effects are not observed in Tozlu formation. Therefore, amphibolite facies metamorphism of Tozlu formation developed in a different environment. Tozlu formation is the separate tectonic slice within Kazdağ Massif. The emplacement of Tozlu formation into Kazdağ Massif, and therefore the tectonic slicing of Kazdağ Massif within itself, must have been after second metamorphism stage in upper amphibolite facies. After this tectonic slicing, the whole of Massif underwent the regressive metamorphism in greenschist facies at 375-430 °C temperature - 2-3.5 kbar pressure and at depth of ~10 km.

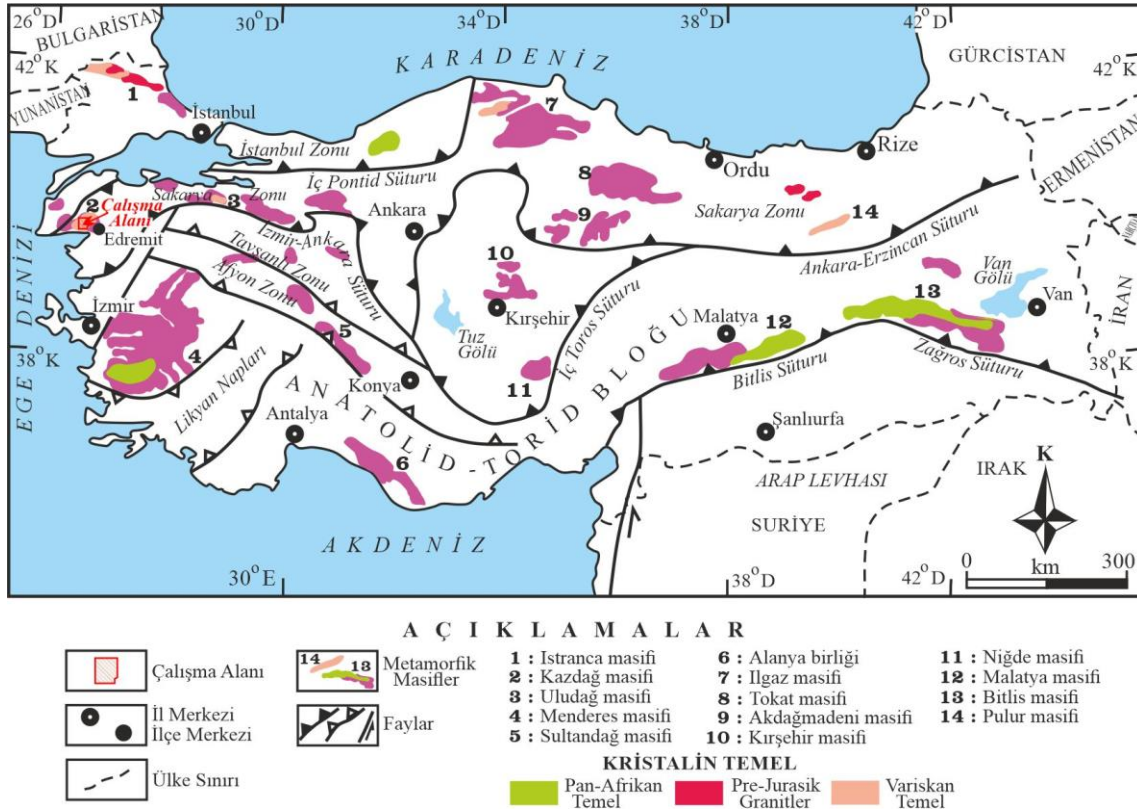
Keywords: Kazdağ Massif, Polymetamorphism, Porphyroblast-foliation relationship

* Gürsel Kansun; gkansun@ktun.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Çalışma alanı, Pontidler Tektonik Birliği içerisindeki Sakarya Kıtası'nın temelinde yüzeyleyen Kazdağ Masifi'ni (Okay vd., 1990) kapsar (Şekil 1 ve 2). Sakarya Kıtası'nın temelinde tektonik bir pencere şeklinde yüzeyleyen (Okay vd., 1990) ve Variskan temel özelliği gösteren (Okay & Tüysüz, 1999) Kazdağ Masifi, migmatitleşmeye kadar ulaşan yüksek sıcaklık - orta basınç metamorfizması ve polimetamorfizma özellikleriyle, Türkiye'nin önemli metamorfik masiflerinden bir tanesidir (Şekil 1).



Şekil 1. Türkiye'nin tektonik birlikleri ve kristalin temeller (Okay & Tüysüz, 1999) ile Türkiye'deki metamorfik masiflerin (Okay (2008)'den modifiye edildi) gösterimi.

Figure 1. Representation of Turkey's tectonic units and crystalline basements (Okay & Tüysüz, 1999) and metamorphic massifs in Turkey (modified from Okay (2008)).

Bingöl vd. (1973), bölgede Karakaya Kompleksi tarafından örtülen metamorfik kayalar Kazdağ Masifi olarak tanımlamışlardır. Kazdağ Masifi'nin stratigrafik özelliklerine yönelik bazı çalışmalar, sırasıyla Schuiling (1959), Gümüş (1964), Bingöl (1968, 1969, 1971) ve Bingöl vd. (1973) tarafından gerçekleştirilmiştir. Gözler vd. (1984), bu metamorfiklerin alta amfibolit fasiyesinde metamorfizmaya uğrayan migmatit, sillimanitli ve stavrolitli gnays, biyotitli gnays ve amfibollü gnaysdan oluştuğunu, üstte ise yeşilşist fasiyesinde metamorfizmaya uğrayan kuvars şist, mermer, kalkışist, yeşilşist, serpantin ve fillitden yapıldığını belirtmişlerdir. Gözler (1986) Kazdağ Masifi içerisinde metaofiyolitlerin yer aldığını ve bunların da amfibolit fasiyesinde metamorfizmaya uğradığını söylemektedir. Duru vd. (2004) ve Şentürk (2005), amfibolit fasiyesinde metamorfizma geçiren Kazdağ Masifi'nin alt seviyelerinde amfibollü gnays – mermer - amfibolit ardalanmasının yer aldığını, orta seviyelerinde mermerler ile örtülen metaofiyolitik kayaların bulunduğunu, üst seviyelerinde ise paragnays, ortognays ve migmatitlerin gözlendiğini belirtirler. Kazdağ Masifi'ndeki formasyonlar son metamorfizma öncesi yan yana gelmiş naplar şeklinde gözlenir (Duru vd., 2004). Okay ve Satır (2000) ve Erdoğan vd. (2013) Kazdağ Masifi'nin Alpin orojenezi sırasında sıkışma rejimi altında amfibolit - granülit fasiyesinde metamorfizmaya uğradığını söylemişlerdir. Okay ve Satır (2000), gnays, amfibolit ve mermerden oluşan Kazdağ Masifi metamorfik çekirdek kompleksinde gözledikleri “kuvars + plajiyoklas + biyotit + muskovit ± granat ± sillimanit” ve “kuvars + plajiyoklas + diyopsit + hornblend ± granat ± epidot ± skapolit” mineral parajenezlerine göre, Kazdağ Masifi'nde en yüksek şartlarda gerçekleşen metamorfizmanın Geç Oligosen – Erken Miyosen'de, 5 ± 1 kbar basınç ve 640 ± 50 °C sıcaklık şartlarında

meydana geldiğini ve bu metamorfizma ile Kazdağ metamorfitlelerinin birbiriyle uyumlu foliasyon ve lineasyon kazandıklarını belirtmektedirler. Şengün (2016), Kazdağ Masifi içerisindeki meta-ofiyolitik kayaçların, Masif içerisinde daha yüksek basınçlı ayrı bir tektonik dilim olduğunu ve ~660 °C sıcaklık - ~10 kbar basınç şartlarında amfibolit fasiyesinde metamorfizmaya uğradığını belirtmektedirler. Hasözbek vd. (2017), Kazdağ Masifi'nin altta okyanusal kabuk kökenli ultramafik kayaçlarla, üzerine uyumsuzlukla gelen kalın platform birlikleriyle (mermer ve migmatitler) ve bunlarla ardalanmalı metalavlar, yer yer ilksel dokusunu korumuş metagranitoidlerle temsil edildiğini ileri sürerler.

Kazdağ Masifi ile ilgili yapılan önceki çalışmalarda Masifin metamorfizma yaşı ile ilgili şu görüşler ileri sürülmüştür: Bingöl (1969), Kazdağ Masifi'ndeki iki gnays örneğinden K-Ar mika yaşlarını 26 ± 3 My ve 27 ± 3 My (Oligosen) olarak belirlemiştir. Sütüven formasyonu gnayslarından alınan iki örnekte Pb buharlaştırma yöntemiyle yapılan zirkon radyometrik yaşı 308 ± 16 my (Karbonifer) olarak belirlenmiş ve bu Kazdağ metamorfitlelerinin yüksek dereceli metamorfizma ve migmatitleşme yaşı olarak yorumlanmıştır (Okay vd., 1996). Okay ve Satır (2000), Kazdağ Masifi metamorfik çekirdek kompleksinde yer alan gnayslarda ortalama muskovit ve biyotit Rb ve Sr yaşlarının sırasıyla 19 my ve 22 my olduğunu ve bunun Geç Oligosen zamanda yüksek sıcaklık metamorfizmasına uğradığını belirtmektedirler. Hasözbek vd. (2017), Kazdağ Masifi'ndeki metagranitoidlerden elde edilen zirkonların metamorfik kökenli oldukları ve Kazdağ Masifi ana metamorfizma başlangıcının yaklaşık 60-69 My (Geç Kretase – Paleosen) olduğunu ve son evre yaşlarının da 22-26 My (Oligosen – Erken Miyosen) aralığında olduğunu söyler. Kazdağ Masifi'nde önceki çalışmalarda tespit edilen bu yaş farklılıkları, "Tartışma ve sonuçlar" bölümünde ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

Kazdağ Masifi, özellikle alt seviyelerinde gözlenen amfibollü ve biyotitli gnayslardaki polimetamorfizma özellikleri ve üst seviyelerindeki paragnayslarda anateksiye kadar ulaşan sıcaklık şartlarıyla önemli bir metamorfizma - deformasyon tarihçesine sahiptir. Önceki çalışmalarda bu polimetamorfizma özellikleri ayrıntılı olarak verilmemiştir. Bu çalışmada, Kazdağ Masifi'ndeki bu polimetamorfik kayaçların porfiroblast – foliasyon ilişkileri de gözönüne alınarak, Kazdağ Masifi'nin metamorfizma tarihçesinin yorumlanması amaçlanmıştır.

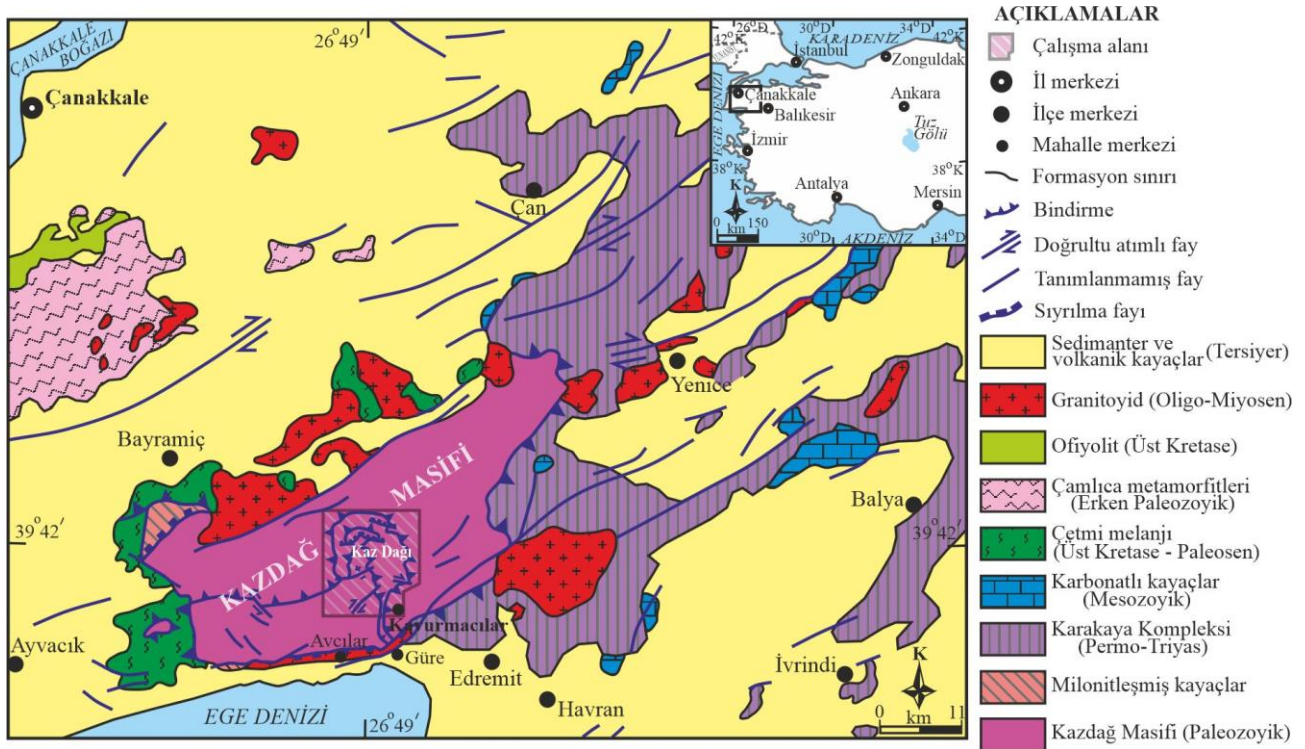
2. Bölgesel stratigrafi ve Kazdağ Masifi'nin konumu

2. Regional stratigraphy and location of Kazdağ Massif

Kuzeybatı Anadolu'da Biga Yarımadası'nda yer alan Kazdağ Masifi (Şekil 2) Sakarya Kıtası'nın temelinde tektonik bir pencere şeklinde gözlenir (Okay vd., 1990). Kazdağ Masifi'nin yapısı, kıvrım eksenini KD-GB doğrultulu ve her iki yöne dalımlı bir antiklinoryum şeklindedir (Duru vd., 2004).

Bölgede Kazdağ Masifi'nin tabanı izlenememektedir. Kazdağ Masifi üstten Permiyen - Miyosen yaşlı litolojilerle tektonik dokanaklıdır (Okay vd., 1990; Okay & Satır, 2000; Duru vd., 2004). Kazdağ Masifi'nin kuzey ve doğusunda Permo-Triyas yaşlı Karakaya kompleksi tektonik bir dokanakla yer alır (Okay vd., 1990; Duru vd., 2004). Bu birim Bingöl vd. (1973) tarafından, Permo-Karbonifer yaşlı kireçtaşı olistolit blokları içeren ve düşük dereceli metamorfik ve sedimanter kayaçlardan oluşan Triyas yaşlı Karakaya formasyonu olarak tanımlanmıştır. Okay vd. (1990) ise farklı tektonostratigrafik birimlerden (Nilüfer birimi, Çal birimi, Orhanlar grovağı ve Hodul birimi) oluşan bu birimi Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi olarak adlandırmıştır. Kazdağ Masifi batıda Geç Kretase – Paleosen yaşlı Çetmi melanjı (Okay vd., 1991; Okay & Satır, 2000) tarafından yine tektonik bir dokanakla örtülür. Çetmi melanjı mafik volkanik ve volkanoklastik kayaçlar, Geç Triyas – Geç Kretase yaşlı kireçtaşı blokları ve şeyl, grovak, çört, serpantinit, granat-mika şist ve eklojit tektonik dilimleri içerir (Duru vd., 2004). Bölgede, Karakaya kompleksi ve Çetmi melanjı Tersiyer yaşlı sedimanter ve volkanik kayaçlar tarafından uyumsuzlukla örtülür (Duru vd., 2004; Şengün, 2016). Oligo-Miyosen yaşlı granitoidler hem Kazdağ Masifi'ne hem de çevredeki kayaçlar içerisine sokulum yapmıştır (Okay vd., 1990; Duru vd., 2004; Şentürk, 2005; Şengün, 2016).

Kazdağ Masifi'ne ait gnaysların üzerinde kalın bir milonitik zon gözlenir (Okay vd., 1991; Okay & Satır, 2000). Kazdağ Masifi'nin batı kenarında bulunan Alakeçi milonit zonundan 14-17 My (Miyosen) apatit iz yaşları elde edilmiştir. Bu yaşlar Kazdağ Masifi'nin yüzeylemesiyle ilişkilidir (Cavazza vd., 2009). Kazdağ metamorfitlelerinin son metamorfizma koşulları, masifin 15 km derinde olduğunu ve Oligo-Miyosen'den itibaren çevresindeki sıyrıma ve yanıl atımlı faylarla dom şeklinde yükselerek bugünkü konumunu kazandığını göstermektedir (Okay & Satır, 2000).



Şekil 2. Çanakkale – Ayvacık – İvrindi – Çan civarının (Biga yarımadası) genelleştirilmiş jeoloji haritası (Duru vd., 2004; Şengün, 2016 ve Özden vd., 2018'den değiştirilerek alınmıştır).

Figure 2. Generalized geological map of Çanakkale – Ayvacık – İvrindi – Çan vicinity (Biga peninsula) (modified from Duru et al., 2004; Şengün, 2016 and Özden et al., 2018).

3. Materyal ve metod

3. Material and method

Edremit İlçesi'ne (Balıkesir) ait Güre, Avcılar ve Kavurmacılar Mahallelerinin kuzeyinde yer alan Kaz Dağı ve civarında yapılan (Şekil 2) arazi çalışmaları 1/25000 ölçekli Ayvalık – İ 17-c1 ve İ 17-c2 topoğrafik harita paftaları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Araziye yer alan birimlerin sınırları ve çizgisel-düzlemsel yapılar topoğrafik haritalar üzerine çizilerek, bölgenin ayrıntılı 1/25000 ölçekli jeolojik haritası oluşturulmuştur. Çalışma alanından derlenen altere olmamış toplam 105 adet kayaç örneğinden Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Laboratuvarında ince kesitler yaptırılmıştır. Bunlar; mineralojik bileşim, doku-yapı özellikleri, porfiroblast – foliasyon ilişkileri, metamorfizma – deformasyon ilişkileri, mineral parajenezleri ve indeks minerallere göre metamorfizma özellikleri açısından Nikon marka polarizan mikroskop altında incelenmiştir.

Kazdağ Masifi'nde gözlenen kayaçların adlandırılmasında gnayslar, amfibolitler ve mikaşistler için Winkler (1979)'un düşük ve yüksek sıcaklıklı metamorfik kayaçların sınıflandırma diyagramları kullanılmıştır. Serpantinitler, bileşenlerinin yüzde miktarları ve kayaç yapıları dikkate alınarak adlandırılmıştır. Meta dunit, meta proksenit ve meta proksen-hornblendit olarak adlandırılan kayaçların, köken kayaç dokularını kısmen koruyarak metamorfizmaya uğradığı görülmüştür. Bu kayaçlar; mineralojik bileşim ve doku-yapı özellikleri göz önüne alınarak gabro, dunit, proksenit ve proksen-hornblendit şeklinde adlanmış, bu adlamaların başına metamorfizma geçirdiklerini gösteren meta- ön eki getirilmiştir. Kazdağ Masifi'ndeki metamorfizma şartları, metamorfitlelerdeki indeks mineraller ve mineral parajenezlerine göre, uygun basınç-sıcaklık diyagramları kullanılarak belirlenmiştir.

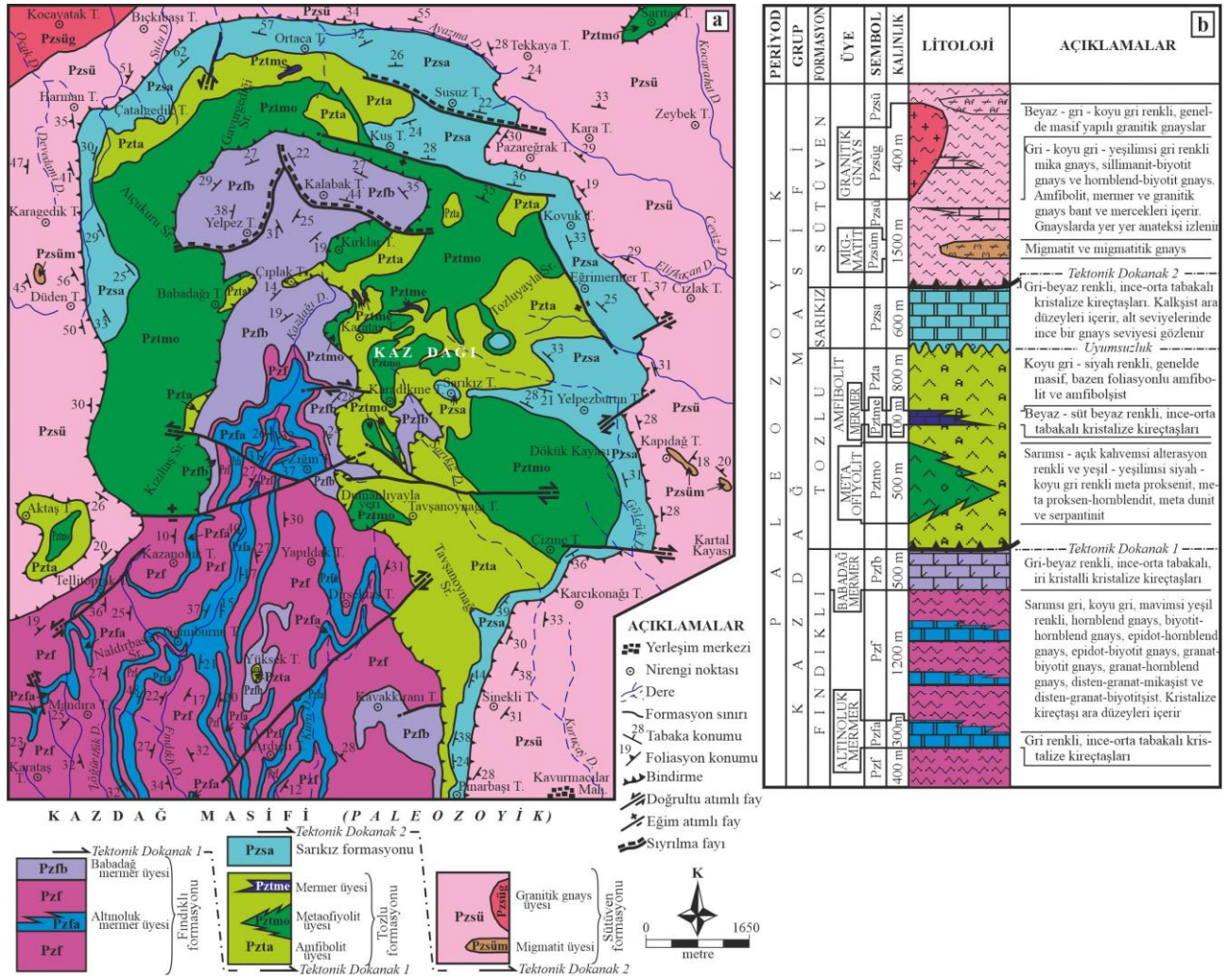
4. Bulgular

4. Results

4.1. Stratigrafi

4.1. Stratigraphy

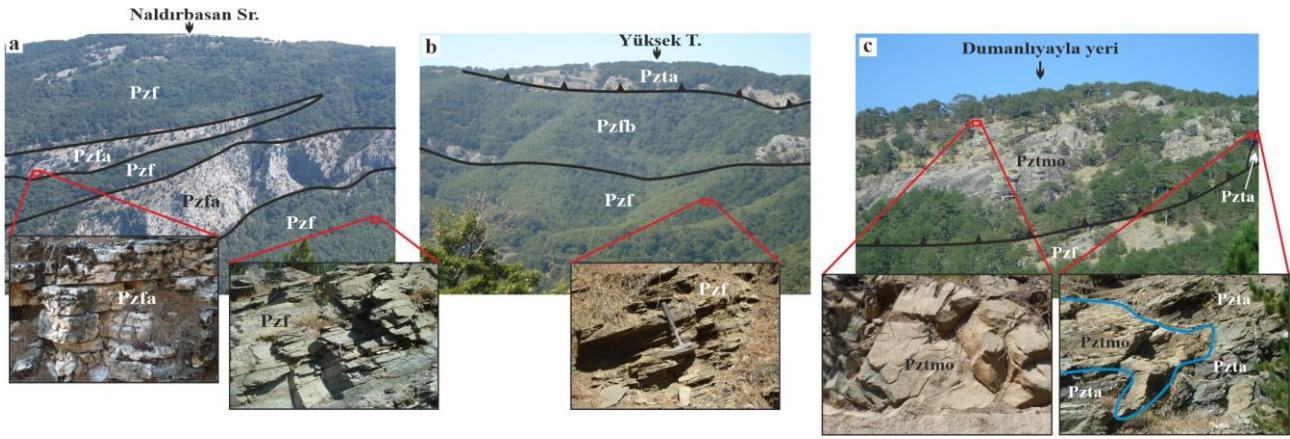
Kazdağ Masifi tabanda, kristalize kireçtaşı aradüzeyle amfibollü gnayslardan ve mika şistlerden oluşan Fındıklı formasyonu (Duru vd., 2004) ile başlar (Şekil 3a ve 3b).



Fındıklı formasyonu yaygın olarak sarımsı gri, koyu gri, mavimsi yeşil renkli hornblend gnays, biyotit-hornblend gnays, epidot-hornblend gnays, epidot-biyotit gnays, granat-biyotit gnays, granat-hornblend gnays, disten-granat-mika şist ve disten-granat-biyotit şistlerden oluşur (Şekil 4a ve 4b). Bu amfibollü ve biyotitli gnayslar; hornblend + plajyoklas (albit-oligoklas-andezin) + kuvars ± ortoklas + biyotit + granat (prop-almandin-grossular) ± epidot ± zoisit/kliozoisit ± klorit (ripidolit-piknoklorit, pennin-klioklor) ± disten ± stavrolit + muskovit ± kalsit ± sillimanit ± mikroklin ± aktinolit + turmalin (yeşil, kahve) + sfen ± rutil ± apatit mineral topluluğu (Kansun & Ökmen, 2019; Kansun vd., 2019) içerir. Formasyonunun üst seviyelerinde, gri – koyu gri renkli disten-granat-mika şist ve disten-granat-biyotit şistler açığa çıkar (Şekil 4b). Bu metapelitik şistler; biyotit + kuvars + granat (prop-almandin-grossular) + disten + sillimanit + plajyoklas (albit-oligoklas-andezin) ± muskovit + klorit (ripidolit-piknoklorit, pennin-klioklor) ± epidot ± zoisit/kliozoisit ± ortoklas + turmalin (yeşil) ± sfen ± rutil ± apatit mineral topluluğu (Kansun & Ökmen, 2019; Kansun vd., 2019) ile belirgindir. Üste doğru, ince bir seviye halinde sarımsı gri renkli kuvars şistler gözlenir. Özellikle Kaz Dağı'nın güneybatısında, gnays ve şistler arasında kalınlığı 10 – 120 m arasında değişen çok sayıda kristalize kireçtaşı seviyeleri (Altnoluk mermer üyesi; Duru vd., 2004) yer alır (Şekil 4a).

Fındıklı formasyonunun en üst seviyesinde gri-beyaz renkli, iri kristalli ve ince-orta tabakalı kristalize kireçtaşları (Babadağ mermer üyesi; Duru vd., 2004) gözlenmektedir (Şekil 4b).

Kazdağ Masifi'nin orta düzeylerini oluşturan ve birbirleriyle yanıl-düşey geçişli amfibolit - amfibol şist (amfibolit üyesi; Şentürk & Ünlü, 2009), meta dunit - meta proksenit - meta proksen-hornblendit - serpantin (meta ofiyolit üyesi), az miktarda kristalize kireçtaşlarından (mermer üyesi; Şentürk & Ünlü, 2009) oluşan Tozlu formasyonu (Bingöl vd., 1973), Fındıklı formasyonu üzerinde tektonik dokanakla yer alır (Şekil 3a, 3b, 4b, 4c). Koyu gri - siyah renkli, masif, yer yer foliasyonlu amfibolit ve amfibolşistler (Şekil 4c); hornblend (soluk yeşil-yeşil) + plajyoklas (albit-oligoklas-andezin) + klorit (ripidolit-piknoklorit, klinoklor) ± granat ± epidot ± zoisit/klinozoisit ± kuvars ± sfen ± apatit ± rutil mineral topluluğu (Kansun & Ökmen, 2019; Kansun vd., 2019) ile karakteristiktir. Sarımsı-açık kahvemsi alterasyon renkleri ve yeşil, yeşilimsi siyah, koyu gri taze yüzey renkleri ile belirgin meta ofiyolitik kayalardan (Şekil 4c) meta dunitler; relikt olivin ± relikt klinoproksen (diyopsit/ojit) + serpantin (krizotil) + klorit (klinoklor, ripidolit-piknoklorit), meta proksenitler; relikt klinoproksen (diyopsit/ojit) + klorit (klinoklor, ripidolit-piknoklorit) + relikt ortoproksen (enstatit) ± epidot ± zoisit/klinozoisit ± sfen ± apatit ± rutil, meta proksen-hornblenditler; relikt hornblend + relikt klinoproksen (diyopsit/ojit) + klorit (klinoklor, ripidolit-piknoklorit) ± epidot ± zoisit/klinozoisit ± sfen ± apatit ± rutil ve serpantinler; serpantin (antigorit ve krizotil) + relikt olivin + tremolit ± klorit (klinoklor) ± talk mineral topluluğu (Kansun & Ökmen, 2019; Kansun vd., 2019) ile belgindir.



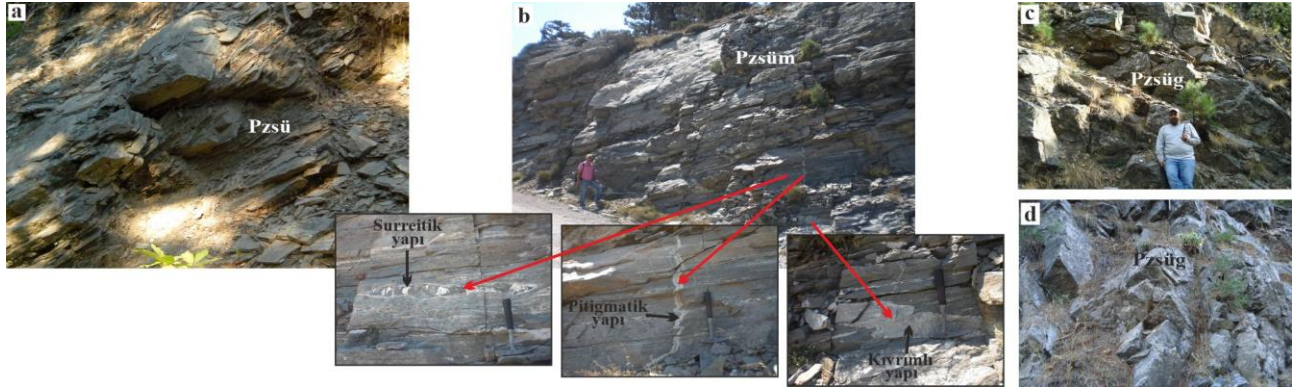
Şekil 4. (a) Fındıklı formasyonuna ait amfibollü-biyotitli gnayslar (Pzf), ve kristalize kireçtaşlarından oluşan Altınoluk mermer üyesi (Pzfa). (b) Altta Fındıklı formasyonuna ait disten-granat-mika şistler (Pzf), bunun üzerinde Fındıklı formasyonunun Babadağ mermer üyesine ait kristalize kireçtaşları (Pzfb) ve en üstte Tozlu formasyonuna ait Amfibolit üyesi (Pzta). (c) Tozlu formasyonuna ait meta ofiyolit (Pztmo) ve amfibolit (Pzta) üyeleri ile Fındıklı formasyonuna (Pzf) ait amfibollü gnays ve metapelitik şistler (Kansun & Ökmen, 2019 ve Kansun vd., 2019'dan).

Figure 4. (a) The gneisses containing amphibole and biotite belonging to the Fındıklı formation (Pzf), and the Altınoluk marble member (Pzfa), which consists of crystallized limestones. (b) The disthene-garnet-mica schists belonging to the Fındıklı formation (Pzf) at the bottom, crystallized limestones belonging to the Babadağ marble member (Pzfb) of the Fındıklı formation on these schists, and the Amphibolite member (Pzta) of the Tozlu formation at the top. (c) The metaophiolite (Pztmo) and amphibolite (Pzta) members of the Tozlu formation, and the amphibole gneisses and metapelitic schists belonging to the Fındıklı formation (Pzf) (from Kansun & Ökmen, 2019 and Kansun et al., 2019).

Tozlu formasyonu üzerinde uyumsuzlukla yer alan Sarıkız formasyonu (Bingöl vd., 1973) altta kalınlığı 5 m'ye kadar ulaşan ince bir gnays seviyesi ve bunun üzerinde kalkıştıradüzeyleri içeren gri-beyaz renkli ve ince-orta tabakalı kristalize kireçtaşlarından oluşur. Gnayslar kuvars + plajyoklas + biyotit + muskovit, metakarbonatlar ise kalsit ± kuvars ± muskovit ± epidot mineral parajenezleri ile belgindir.

Sütüven formasyonu (Duru vd., 2004) amfibolit-mermer-granitik gnays bant-mercekleri ve migmatit düzeyleri içeren mika gnays, sillimanit-biyotit gnays ve hornblend-biyotit gnayslardan oluşur (Şekil 5). Sarıkız ve Tozlu formasyonları üzerinde tektonik dokanakla yer alır (Şekil 3). Gri - koyu gri - yeşilimsi gri renkli ve orta-iri taneli gnayslar ve migmatitler içerisinde; plajyoklas (albit-oligoklas-andezin) + kuvars ± ortoklas + biyotit ± sillimanit + hornblend ± granat (prop-almandin-grossular) ± epidot ± zoisit/klinozoisit ± klorit (ripidolit-

piknoklorit, pennin-klinoklor) + *muskovit* ± *disten* ± *kalsit* ± *stavrolit* ± *mikroklin* + *turmalin* (*yeşil, kahve*) + *sfen* ± *rutil* ± *apatit* mineral topluluğu (Kansun & Ökmen, 2019; Kansun vd., 2019) gözlenir. Granitik gnayslar (granitik gnays üyesi; Duru vd., 2007 ve Şentürk & Ünlü, 2009) beyaz-gri-koyu gri renkli ve genelde masif görünümündedir. Buna karşılık, granitik gnayslar içerisindeki hornblendler, mika gnays ve biyotit gnaysların foliasyonuna uyumlu bir şekilde aynı yönde dizilmişlerdir. Granitik gnayslar; *plajioloklas* (*albit-oligoklas-andezin*) + *ortoklas* + *kuvars* + *biyotit* ± *hornblend* ± *granat* ± *klorit* (*ripidolit-piknoklorit, pennin-klinoklor*) ± *epidot* ± *zoisit/klinozoisit* ± *aktinolit* + *sfen* ± *rutil* ± *apatit* mineral topluluğu (Kansun & Ökmen, 2019; Kansun vd., 2019) içerir. Koyu gri-siyahımsı renkli ve masif yapılı amfibolit bant-mercekleri; *hornblend* + *plajioloklas* (*albit-oligoklas-andezin*) ± *biyotit* ± *kuvars* ± *epidot* ± *zoisit/klinozoisit* ± *klorit* (*ripidolit-piknoklorit, pennin-klinoklor*) + *sfen* mineral topluluğu (Kansun & Ökmen, 2019; Kansun vd., 2019) ile belirlenir.



Şekil 5. (a) Düden Tepe'nin batısında izlenen Sütüven formasyonuna (Pzsü) ait mika gnayslar. (b) Kapıdağ Tepe'nin doğu yamacında sillimanit-biyotit gnayslardan itibaren oluşan surreitik, pitigmatik ve kıvrımlı yapılar gösteren migmatitler (Pzsüm). Kocayatak Tepe'nin güneybatısında (c) ve güneyinde (d) izlenen granitik gnayslar (Pzsüg) (Kansun & Ökmen, 2019 ve Kansun vd., 2019'dan).

Figure 5. (a) Mica gneisses belonging to the Sütüven formation (Pzsü) observed to the west of Düden Hill. (b) Migmatites (Pzsüm) showing surreitic, pyritmatic and folded structures formed from sillimanite-biotite gneisses on the eastern slope of Kapıdağ Hill. Granite gneisses (Pzsüg) observed in the southwest (c) and south (d) of Kocayatak Tepe (from Kansun & Ökmen, 2019 and Kansun et al., 2019).

4.2. Kazdağ Masifi'nin metamorfizma özellikleri

4.2. The metamorphic characteristics of Kazdağ Massif

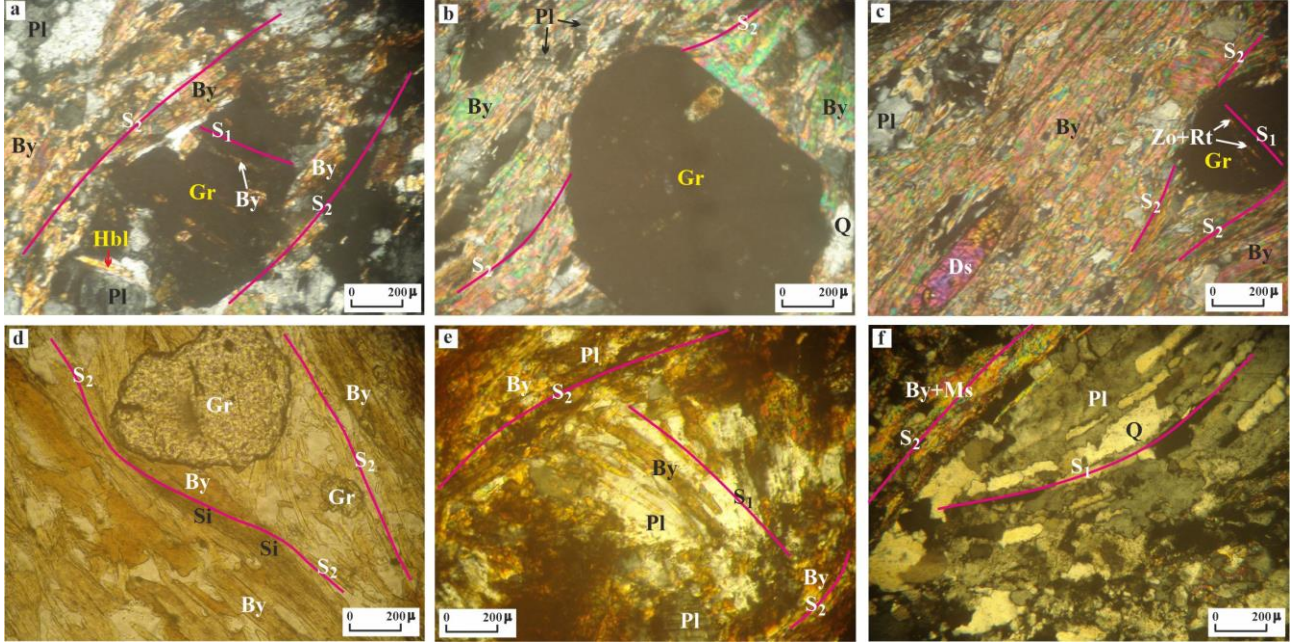
Özellikle, Fındıklı ve Sütüven formasyonlarında gözlenen metapelitik ve metabazik kayalarda farklı metamorfizma şartlarında açığa çıkan mineral parajenezleri ve indeks mineraller yer almaktadır. Ayrıca, Masif yoğun tektonik hareketlere maruz kalmıştır. Bu özellikler Kazdağ Masifi'nin çok evreli metamorfizmaya uğradığını gösterir.

4.2.1. Kazdağ Masifi'nde birinci metamorfizma evresi

4.2.1. The first metamorphism phase within the Kazdağ Massif

Fındıklı formasyonu içerisinde iki farklı metamorfizma evresinde oluşmuş granat kristalleri gözlenir. Fındıklı formasyonuna ait amfibollü gnays, biyotitli gnays ve metapelitik sistemlerde gözlenen ilk evre granatları porfiroblast haldedir. Bunlar özşekilsiz - bazen yarıözşekilli prizmatik kristaller halinde, renksiz - soluk kahverengimsi sarı renkli ve bol kapanımlıdır. Bu kapanımlar; amfibollü ve biyotitli gnayslarda kuvars, hornblend (soluk yeşil-yeşil), stavrolit, epidot, zoisit ve kahve renkli biyotitiden, metapelitik sistemlerde zoisit ve rutilden oluşur. Granat porfiroblastları içerisinde S₁ foliasyonunu oluşturan bu kapanımlar granatlara helisitik bir doku kazandırır (Şekil 6a ve 6c). Bu doku granatların posttektonik olduğunu, F₁ deformasyon evresinden sonra da büyümeye devam ettiğini gösterir. Bu granatlar; epidot-biyotit gnays ve granat-biyotit gnayslarda biyotit + hornblend (kahvemsi yeşil) + distenin oluşturduğu, metapelitik sistemlerde ise kahve renkli biyotit + muskovit + distenin oluşturduğu S₂ foliasyonu tarafından sarılmıştır (Şekil 6a, 6b, 6c ve 6d). Bu durum, granatların F₂ deformasyon evresine göre pretektonik olduğunu gösterir. Bu granatların yer yer S₂ foliasyonunu kesmesi ve yarıözşekilli olması, büyümesinin F₂ deformasyon evresinden sonra da devam ettiğine işaret eder (Şekil 6a, 6b ve 6c). Granatların amfibollü gnays ve biyotitli gnayslarda stavrolit, hornblend (soluk yeşil-yeşil)

ve zoisit kapanımlarını, metapelitikşistlerde ise rutil ve zoisit kapanımlarını içermesi, yüksek basınç alanlarına işaret eder. Dolayısıyla, bu granatlar muhtemelen ilk evre metamorfizması olan orta dereceli metamorfizmanın yüksek basınç alanlarında gerçekleşen metamorfizma ile oluşmuştur (Kansun & Ökmen, 2019; Kansun vd., 2019).



Şekil 6. Fındıklı formasyonuna ait; (a) granat-biyotit gnays içerisinde S_2 foliasyonuna göre pretektonik ve S_1 foliasyonuna göre helisitik dokulu ve posttektonik granat (Gr) porfiroblastı, (b) Disten-granat-mika şistte gözlenen S_2 foliasyonuna göre pretektonik ve posttektonik gelişmiş granat porfiroblastı, (c) Disten-granat-biyotit şistte S_2 foliasyonuna göre pretektonik ve post tektonik, F_1 deformasyon evresine göre posttektonik büyüyen helisitik dokulu granat porfiroblastı, (d) Disten-granat-mika şistte gözlenen S_2 foliasyonuna göre pretektonik ve posttektonik büyüyen yarı özşekilli granat (Gr) porfiroblastı ve biyotitten (By) dönüşen lifsi sillimanitler (Si). Fındıklı formasyonuna ait granat-biyotit gnays (e) ve Sütüven formasyonuna ait mika gnays (f) içerisinde S_1 foliasyonunu oluşturan bir yöne uzamış kuvars (Q) ve biyotit kapanımları içeren ve muskovit (Ms)+biyotitten oluşan S_2 foliasyonu tarafından sarılmış plajiyoklas (Pl) porfiroblastları. Hbl: Hornblend (soluk yeşil-yeşil), Ds: Disten, Zo: Zoisit, Rt: Rutil, a, b, c, e, f: // Nikol, d: / Nikol (Kansun & Ökmen, 2019 ve Kansun vd., 2019'dan).

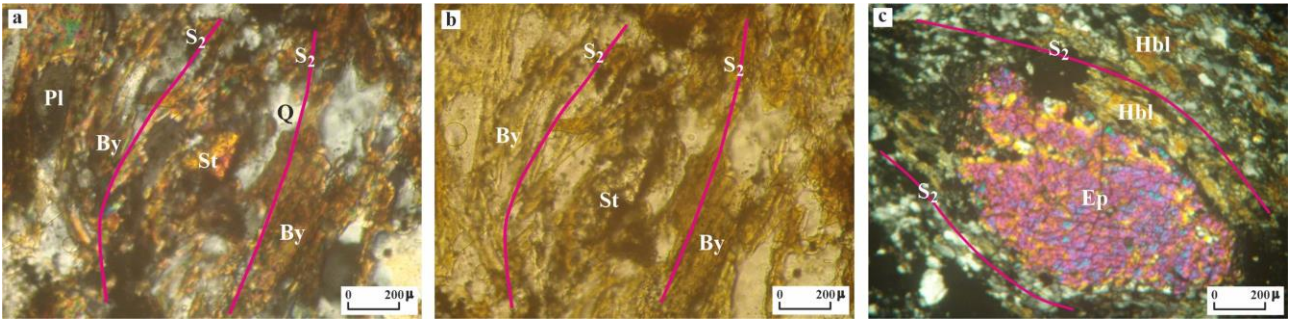
Figure 6. In Fındıklı formation; (a) in garnet-biotite gneiss, pre-tectonic according to S_2 foliation and helicitic textured and posttectonic garnet (Gr) porphyroblast according to S_1 foliation, (b) pre-tectonic and posttectonic garnet porphyroblast according to the S_2 foliation observed in kyanite-garnet-mica schist, (c) Garnet porphyroblast with helicitic texture, growing posttectonic according to F_1 deformation stage and pre-tectonic and post-tectonic according to S_2 foliation, in kyanite-garnet-biotite schist, (d) Pre-tectonic and posttectonic growing subidioblast garnet (Gr) porphyroblast according to S_2 foliation and fibrous sillimanites (Si) transformed from biotite (By) observed in kyanite-garnet-mica schist. In garnet-biotite gneiss belonging to Fındıklı formation (e) and mica gneiss belonging to Sütüven formation (f), plagioclase (Pl) porphyroblasts surrounded by S_2 foliation consisting of muscovite (Ms)+biotite and containing inclusions of quartz (Q) and biotite elongated in one direction forming the S_1 foliation. Hbl: Hornblende (pale green-green), Ds: Kyanite, Zo: Zoisite, Rt: Rutile, a, b, c, e, f: // Nicol, d: / Nicol (from Kansun & Ökmen, 2019 and Kansun et al., 2019).

Plajiyoklas porfiroblastları; Fındıklı formasyonuna ait amfibollü ve biyotitli gnayslarda hornblend (kahvemsi yeşil), kahve biyotit ve distenin oluşturduğu S_2 foliasyon düzlemi tarafından, Sütüven formasyonuna ait mika gnays ve biyotit gnayslarda kahve biyotit, muskovit ve hornblendin (kahvemsi yeşil) oluşturduğu S_2 foliasyon düzlemi tarafından sarılmıştır (Şekil 6e ve 6f). Dolayısıyla bu plajiyoklaslar S_2 foliasyon düzlemine (F_2 deformasyon evresi) göre pretektoniktir. Bazı plajiyoklas porfiroblastları yer yer S_2 foliasyonunu kesmektedir. Dolayısıyla plajiyoklasların büyümesi F_2 deformasyon evresinden sonra da devam etmiştir. Bu plajiyoklas porfiroblastları içerisinde; Fındıklı formasyonuna ait amfibollü ve biyotitli gnayslarda bir yöne uzamış hornblend (soluk yeşil-yeşil), granat, kahve renkli biyotit, epidot, kuvars ve opak mineral kapanımları, Sütüven

formasyonuna ait mika gnays ve biyotit gnayslarda ise bir yöne uzamış muskovit, kahve renkli biyotit, hornblend (soluk yeşil-yeşil) kapanımları, bu kayaçların S_1 foliasyon düzlemini oluşturur (Şekil 6e ve 6f). Bu kayaçlarda, S_1 foliasyonunu oluşturan bu kapanımlar, yüksek basınç – orta sıcaklıkta amfibolit fasiyesi şartlarında oluşan ilk evre metamorfizma ürünü olmalıdır (Kansun & Ökmen, 2019; Kansun vd., 2019).

Fındıklı formasyonuna ait amfibollü ve biyotitli gnayslarda; plajioklas ve granat porfiroblastları içerisinde, bazen soluk - çoğunlukla belirgin yeşil renkli ve düşük açılı eğik sönmeli ($18^\circ-22^\circ$) hornblendler ile, prizmatik şekilli, yeşil-koyu yeşil renkli ve düşük açılı eğik sönmeli ($21^\circ-23^\circ$) hornblendler gözlenir (Şekil 6a). Bu hornblendler, plajioklas ve granat porfiroblastları içerisinde S_1 foliasyonunu oluşturan, bir yöne uzamış kapanımlar halindedir. Ayrıca, bu soluk yeşil – yeşil renkli hornblendler, plajioklas ve granat porfiroblastını çevreleyen, kahvemsî yeşil renkli ve $17^\circ-21^\circ$ arası eğik sönmeli hornblendlerin (çermakit ?) oluşturduğu S_2 foliasyonu ile uyumsuzdur. Dolayısıyla, S_1 foliasyonunu oluşturan soluk yeşil-yeşil renkli hornblendler, yüksek basınç – orta sıcaklıkta amfibolit fasiyesinde gelişen ilk evre metamorfizma ürünü olmalıdır (Kansun & Ökmen, 2019; Kansun vd., 2019).

Stavrolitler prizmatik şekilli, sarı renkli ve bazen bol kuvars kapanımlıdır. Fındıklı formasyonuna ait granat-biyotit gnays ve Sütüven formasyonuna ait sillimanit-biyotit gnays içerisinde gözlenen stavrolit porfiroblastları, levhamsı biyotit ve uzun prizmatik hornblendlerin (kahvemsî yeşil) oluşturduğu S_2 foliasyonu tarafından nispeten sarılmış olup, F_2 deformasyon evresine göre pretektoniktir. Bunlar muhtemelen ilk evre metamorfizması olan, orta dereceli metamorfizmanın yüksek basınç alanlarında amfibolit fasiyesinde oluşmuştur. Ayrıca, bu stavrolitlerin yer yer S_2 foliasyonunu kesmesi (Şekil 7a ve 7b), büyümesinin F_2 deformasyon evresinden sonra da devam ettiğini gösterir (Kansun & Ökmen, 2019; Kansun vd., 2019).



Şekil 7. (a) ve (b) Fındıklı formasyonuna ait granat-biyotit gnaysda stavrolit (St), biyotit (By), plajioklas (Pl) ve kuvars (Q). **(c)** Fındıklı formasyonuna ait epidot-hornblend gnaysda S_2 foliasyonuna göre pretektonik epidot (Ep) porfiroblastı. Hbl: Hornblend (kahvemsî yeşil), **a, c:** // Nicol, **b:** / Nicol (Kansun & Ökmen, 2019 ve Kansun vd., 2019‘dan).

Figure 7. (a) and (b) Staurolite (St), biotite (By), plagioclase (Pl) and quartz (Q) in the garnet-biotite gneiss belonging to the Fındıklı formation. **(c)** Pretectonic epidote (Ep) porphyroblast according to S_2 foliation in epidote-hornblende gneiss belonging to Fındıklı formation. Hbl: Hornblende (brownish green), **a, c:** // Nicol, **b:** / Nicol (from Kansun & Ökmen, 2019 and Kansun et al., 2019).

Epidot ve zoisit/klinozoisitler, Fındıklı formasyonuna ait; epidot-hornblend gnayslarda kahvemsî yeşil renkli hornblendlerin oluşturduğu (Şekil 7c), epidot-biyotit gnayslarda ise biyotit+hornblend (kahvemsî yeşil)+distenin oluşturduğu S_2 foliasyonu tarafından sarılmıştır. Bu durum epidot ve zoisit/klinozoisitlerin F_2 deformasyon evresine göre pretektonik olduğuna işaret eder. Fındıklı formasyonuna ait; amfibollü gnayslarda plajioklas porfiroblastları içerisinde S_1 foliasyon düzlemini oluşturan bir yöne uzamış kahve biyotit, hornblend (soluk yeşil-yeşil), klorit, epidot kapanımları ve ayrıca, epidot-biyotit gnays ve granat-biyotit gnayslarda ilk evre granat porfiroblastları içerisindeki S_1 foliasyonunu oluşturan kuvars, hornblend (soluk yeşil-yeşil), stavrolit, epidot, zoisit ve kahve biyotit kapanımları helisitik dokuyu gösterir. Dolayısıyla, bu kayaçlardaki epidot ve zoisit/klinozoisitler, ilk evre metamorfizması olan orta dereceli metamorfizmanın yüksek basınç alanlarındaki amfibolit fasiyesinde oluşmuştur (Kansun & Ökmen, 2019; Kansun vd., 2019).

Sonuç olarak Kazdağ Masifi'nin Fındıklı, Sütüven ve Tozlu formasyonlarına ait metapelitik, metapsammitik, metasemipelitik ve metabazik kayaçlarda gözlenen bütün bu özellikler, Kazdağ Masifi'nin başlangıçta yüksek basınçlı amfibolit fasiyesi şartları altında metamorfizmaya uğradığına işaret eder.

Fındıklı formasyonuna ait amfibollü gnayslarda plajioklas porfiroblastları içerisinde S₁ foliasyonunu oluşturan epidotlar hornblend (soluk yeşil-yeşil) ve klorit ile birlikte bulunur. Ayrıca, bu kayalarda albit bileşimli plajioklaslar gözlenir. Dolayısıyla bu durum, amfibolit fasiyesindeki bu metamorfizmanın başlangıcının “epidot-amfibolit fasiyesi”nde gerçekleştiğine işaret eder. Epidot-amfibolit fasiyesi “hornblend + oligoklas + epidot + Mg-klorit” parajenezini ile belirgindir.

Fındıklı ve Sütüven formasyonlarına ait metapelitik (mikaşist ve biyotitşistler), metapsammitik-metasemipelitik (mika gnays ve biyotit gnays) ve metanötr (amfibollü gnays) kayalarda;

Stavrolit + Disten + Muskovit + Biyotit + Oligoklas + Kuvars (Şekil 8 – (1)),

Stavrolit + Muskovit + Almandin + Biyotit + Kuvars (Şekil 8 – (2)),

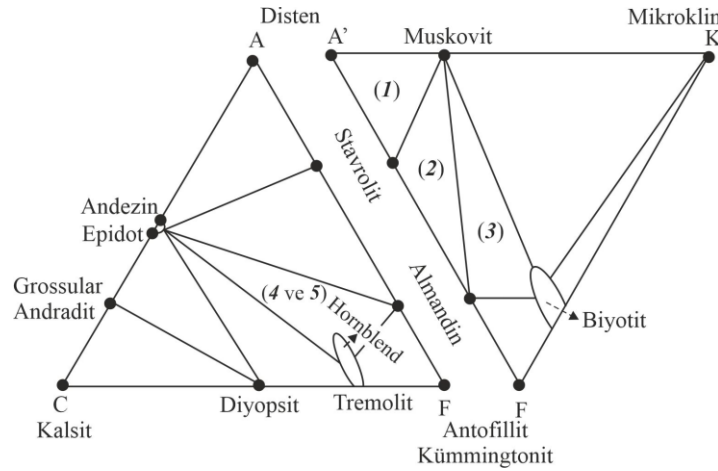
Muskovit + Biyotit + Almandin + Kuvars + Andezin (Şekil 8 – (3))

ve Tozlu formasyonuna ait metabazik kayalarda (amfibolit ve amfibolşist);

Hornblend (soluk yeşil-yeşil) + Almandin + Epidot + Zoisit (Şekil 8 – (4)),

Hornblend (soluk yeşil-yeşil) + Andezin + Epidot (Şekil 8 – (5))

parajenezleri, amfibolit fasiyesinin “stavrolit-almandin” alt fasiyesi”nde metamorfizmaya işaret eder (Şekil 8).



Şekil 8. Amfibolit fasiyesinin stavrolit-almandin alt fasiyesinde gözlenen topluluklar (Winkler, 1967). $A=(Al_2O_3)+(Fe_2O_3)-(Na_2O)-(K_2O)$, $C=(CaO)$, $F=(FeO)+(MgO)+(MnO)$, $A'=(Al_2O_3)+(Fe_2O_3)-(Na_2O)-(K_2O)-(CaO)$, $K=(K_2O)$.

Figure 8. The assemblages observed in the staurolite-almandine sub-facies of amphibolite facies (Winkler, 1967). $A=(Al_2O_3)+(Fe_2O_3)-(Na_2O)-(K_2O)$, $C=(CaO)$, $F=(FeO)+(MgO)+(MnO)$, $A'=(Al_2O_3)+(Fe_2O_3)-(Na_2O)-(K_2O)-(CaO)$, $K=(K_2O)$.

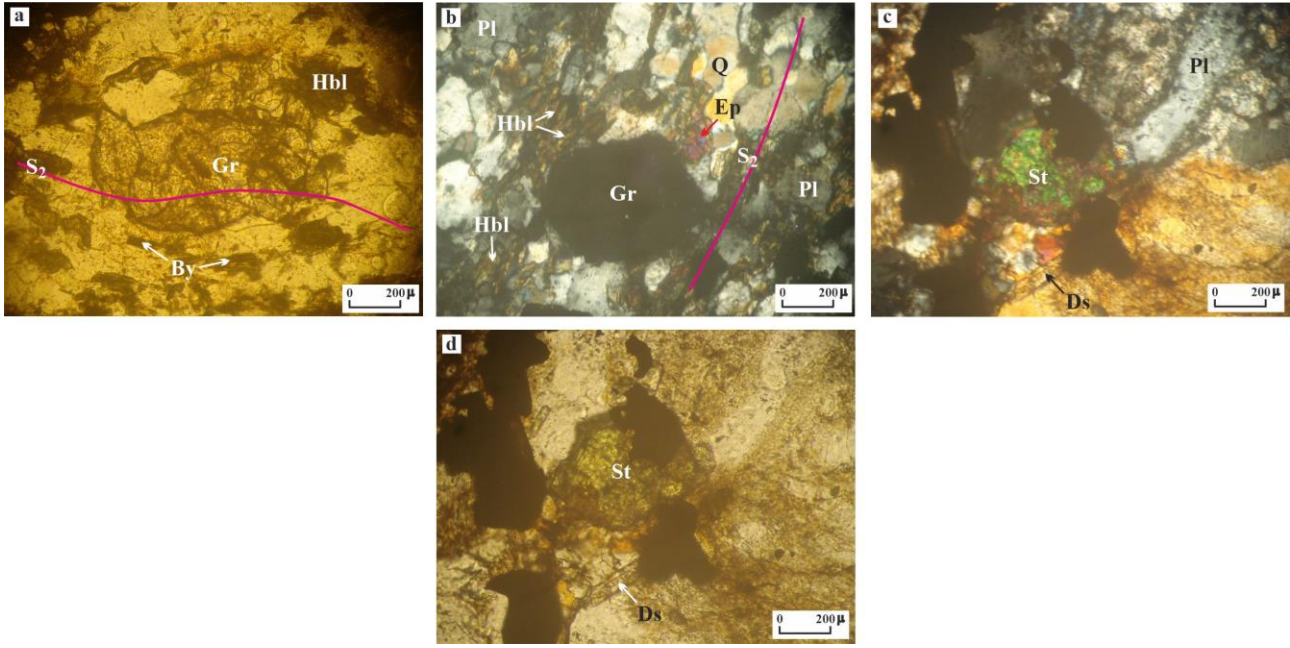
Sonuç olarak, Kazdağ Masifi'nin başlangıçta amfibolit fasiyesinde bir metamorfizma geçirmiştir. Bu metamorfizmanın; Fındıklı formasyonunda “epidot-amfibolit fasiyesi”nden “amfibolit fasiyesinin stavrolit-almandin alt fasiyesi”ne doğru ilerleyen tarzda, Sütüven formasyonunda ise “amfibolit fasiyesinin stavrolit-almandin alt fasiyesi”nde gerçekleştiği söylenebilir. Tozlu formasyonunun mineral parajenezleri, bu formasyonun da amfibolit fasiyesinde (muhtemelen stavrolit-almandin alt fasiyesi) bir metamorfizmaya uğradığına işaret eder.

4.2.2. Kazdağ Masifi'nde ikinci metamorfizma evresi

4.2.2. The second metamorphism phase within the Kazdağ Massif

Fındıklı formasyonuna ait amfibollü gnays ve biyotitli gnayslarda izlenen ikinci evre granatları; genelde altıgen-sekizgen kristaller halinde özşekilli-yarıözşekilli, çoğunlukla porfiroblast bazen daha küçük boyutlu kristaller halindedir. Bu granatlar kahve renkli biyotit, hornblend (kahvemsi yeşil), sillimanit ve uzun prizmatik distenin oluşturduğu S₂ foliasyonu tarafından yer yer sarılmıştır. Dolayısıyla oluşumu F₂ deformasyon evresinden önce başlamıştır. Biyotit-hornblend gnayslarda bu granatlar S₂ foliasyon düzlemine göre sentektonik kristalleşmiştir (Şekil 9a). Aynı zamanda, bu kayalarda, S₂ foliasyonunu keserek büyümüş özşekilli granat porfiroblastları da görülmektedir (Şekil 9b). Bu tür granatlarda bazen altıgen-sekizgen şekiller korunmuştur. Dolayısıyla, amfibollü gnays ve biyotitli gnayslar içerisinde görülen ikinci evre granatları, F₂ deformasyon evresinden önce kristallenmeye başlamış ve bu evreden sonra da büyümeye devam etmiştir. Bu

ikinci evre granatları, Kazdağ Masifi'ndeki epidot-amfibolit fasiyesinden amfibolit fasiyesinin stavrolit-almadin alt fasiyesine doğru ilerleyen tarzda gelişen başlangıç metamorfizmasından sonra, ortamda azalan basınç ve artan sıcaklıkla birlikte, yüksek sıcaklıklı üst amfibolit fasiyesi metamorfizması şartları altında açığa çıkmış olmalıdır. Fındıklı formasyonuna ait mikaşit ve biyotitistlerde gözlenen ilk evre granatlarının kahve renkli biyotit, muskovit ve distenin oluşturduğu S_2 foliasyonunu (F_2 deformasyon evresi) yer yer kesmesi ve özşekilli olması, bu granatların büyümesinin F_2 deformasyon evresinden sonra da devam ettiğini gösterir (Şekil 6b, 6c ve 6d) (Kansun & Ökmen, 2019; Kansun vd., 2019).

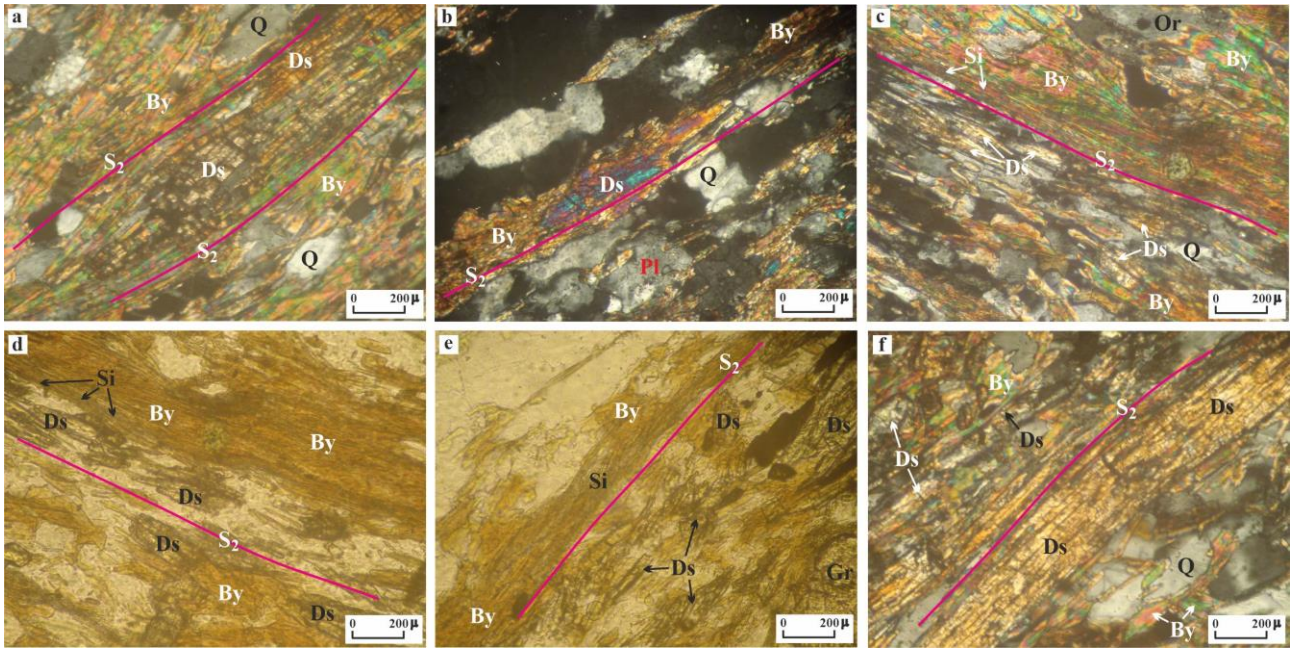


Şekil 9. Fındıklı formasyonuna ait biyotit-hornblend gnaysda; sintektonik granat (Gr) porfiroblastı (a), S_2 foliasyonunu keserek büyüyen yarıözşekilli – altıgen granat porfiroblastı (b). (c) ve (d) Sütüven formasyonuna ait sillimanit-biyotit gnays içerisinde izlenen stavrolit (St). By: Biyotit, Hbl: Hornblend (kahvemsi yeşil), Ds: Disten, Pl: Plajiyoklas, Ep: Epidot, Q: Kuvars. a, d: / Nikol, b, c: // Nikol (Kansun & Ökmen, 2019 ve Kansun vd., 2019'dan).

Figure 9. In the biotite-hornblende gneiss belonging to the Fındıklı formation; syntectonic garnet (Gr) porphyroblast (a), subidioblast-hexagonal garnet porphyroblast growing by cutting the S_2 foliation (b). (c) and (d) Staurolite (St) observed in sillimanite-biotite gneiss belonging to the Sütüven formation. By: Biotite, Hbl: Hornblende (brown green), Ds: Kyanite, Pl: Plagioclase, Ep: Epidote, Q: Quartz. a, d: / Nicol, b, c: // Nicol (from Kansun & Ökmen, 2019 and Kansun et al., 2019).

Kazdağ Masifi içerisinde stavrolitler başlangıçta, ilk evre metamorfizması olan, orta dereceli metamorfizmanın yüksek basınç alanlarındaki amfibolit fasiyesi şartları altında oluşmuştur. Fındıklı formasyonuna ait granat-biyotit gnayslarda prizmatik stavrolit kristallerinin yer yer S_2 foliasyonunu oluşturan levhamsı biyotit ve uzun prizmatik hornblendleri (kahvemsi yeşil) keserek büyümesi, bunların F_2 deformasyon evresinden sonra da büyümeye devam ettiğini gösterir (Şekil 7a, 7b). Özellikle, Fındıklı formasyonuna ait granat-biyotit gnayslarda ve Sütüven formasyonuna ait sillimanit-biyotit gnayslarda stavrolitin disten ve sillimanitle birlikte gözlenmesi (Şekil 9c, 9d), ortamda Barrow tipte azalan basınç – artan sıcaklığa (ilerleyen metamorfizma) bağlı olarak üst amfibolit fasiyesi şartları altında gelişen ikinci metamorfizma evresinde stavrolitlerin korunduğuna işaret eder. İkinci metamorfizma evresinde oluşan granat porfiroblastları içerisinde bazen stavrolit kapanımlarına rastlanılmaktadır. Bu durum, ortamda ilerleyen reaksiyonlarla (artan sıcaklık) birlikte stavrolitin yerini granatın aldığını gösterir. Sonuç olarak, stavrolitler Kazdağ Masifi içerisinde ilk metamorfizma olarak izlenen, orta dereceli metamorfizmanın yüksek basınç alanlarındaki amfibolit fasiyesi şartlarında açığa çıkmış, sıcaklık artışıyla birlikte yüksek sıcaklıktaki üst amfibolit fasiyesi şartları altında yerini granat ve/veya distene bırakmıştır; $9 \text{ Stavrolit} + \text{Muskovit} + \text{Kuvars} \rightarrow 17 \text{ Sillimanit} + 2 \text{ Granat} + \text{Biyotit} + \text{H}_2\text{O}$ (Kansun & Ökmen, 2019; Kansun vd., 2019).

Distenler tipik olarak birbirine dik çift yönlü dilinimleri prizmatik kristalleri ve düşük açılı eğik sönmeleri ($4^\circ - 8^\circ$) ile belirgindir (Şekil 10). Bazen çok iri olmayan porfiroblast halde izlenir.



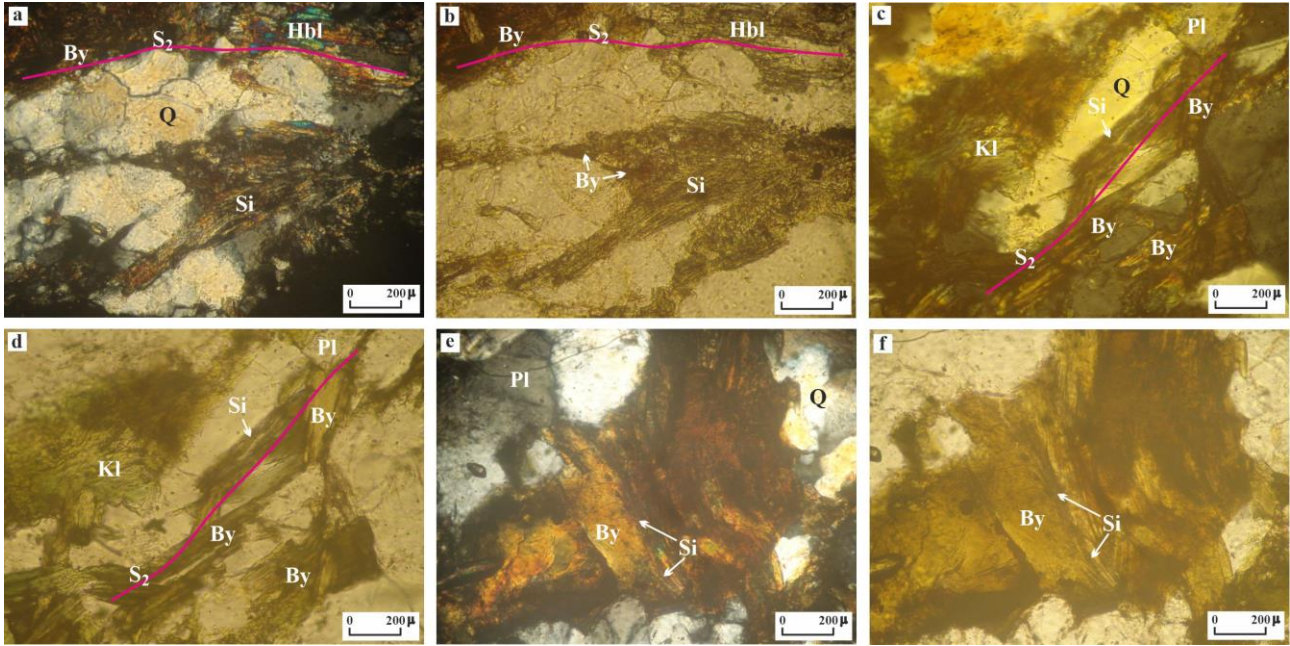
Şekil 10. Fındıklı formasyonuna ait; (a) disten-granat-mikaşistte gözlenen S_2 foliasyonuna göre pretektonik ve posttektonik gelişmiş disten (Ds) porfiroblastı, (b) epidot-biyotit gnays içerisinde izlenen S_2 foliasyonunu oluşturan biyotit (By) ve disten, (c) (d) and (e) disten-granat-mikaşistlerde izlenen biyotitten dönüşen sillimanit (Si), biyotit, disten, granat (Gr) ve kuvars (Q) kristalleri, (f) disten-granat-biyotitışistte S_2 foliasyonu yönünde gelişen disten porfiroblastı, Pl: Plajyoklas. a, b, c, f: // Nicol, d, e: / Nicol (Kansun & Ökmen, 2019 ve Kansun vd., 2019'dan).

Figure 10. In Fındıklı formation; (a) in kyanite-garnet-micaschist, kyanite (Ds) porphyroblast, which developed pre-tectonic and post-tectonic according to the S_2 foliation, (b) biotite (By) and kyanite, constituting the S_2 foliation observed in epidote-biotite gneiss, (c) (d) and (e) sillimanite (Si) transformed from biotite, biotite, kyanite, garnet (Gr) and quartz (Q) crystals observed in kyanite-garnet-micaschists, (f) Kyanite porphyroblast in the direction of S_2 foliation in kyanite-garnet-biotiteschist, Pl: Plagioclase. a, b, c, f: // Nicol, d, e: / Nicol (from Kansun & Ökmen, 2019 and Kansun et al., 2019).

Fındıklı formasyonuna ait biyotit-hornblend gnays, epidot-biyotit gnays, granat-biyotit gnays, mikaşist ve biyotitışistlerde gözlenen disten porfiroblastları, bazen, üst amfibolit fasiyesi şartlarını yansıtan S_2 foliasyonu tarafından belli-belirsiz bir şekilde sarılmıştır (Şekil 10a). Dolayısıyla distenler F_2 deformasyon evresine göre pretektoniktir. Buna karşılık, çoğunlukla; Fındıklı formasyonuna ait gnayslarda S_2 foliasyonunu oluşturan levhamsı biyotit ve prizmatik hornblendlere (kahvemsi yeşil) (Şekil 10b), Fındıklı formasyonuna ait mikaşist ve biyotitışistlerde S_2 foliasyonunu oluşturan uzamış-levhamsı biyotit ve muskovitlere (Şekil 6c ve 10c, 10d, 10e, 10f), Sütüven formasyonuna ait sillimanit-biyotit gnayslarda ise S_2 foliasyonunu oluşturan levhamsı biyotitlere paralel dizilmiş uzun prizmatik kristaller halindedir. Özellikle, Fındıklı formasyonuna ait mikaşist ve biyotitışistlerde, bazen S_2 foliasyonunu kısmen keser durumdadır (Şekil 10a). Bu durum, distenlerin F_2 deformasyon evresine göre aynı zamanda sintektonik ve kısmen posttektonik olduğuna işaret eder. Dolayısıyla, distenlerin oluşumu F_2 deformasyon evresinden önce başlamış ve bu evrede de oluşumu devam etmiştir. Fındıklı ve Sütüven formasyonları içerisindeki distenler, Kazdağ Masifi'ndeki ilk evre metamorfizması olan, orta dereceli metamorfizmanın yüksek basınç alanlarındaki amfibolit fasiyesi şartlarından sonra, özellikle biyotit, bazen muskovit ve muhtemelen stavrolitden itibaren ilerleyen reaksiyonlarla açığa çıkmıştır. Fındıklı formasyonuna ait amfibollü gnays ve biyotitli gnayslar içerisinde, bazı disten porfiroblastlarının kristal kenarlarından itibaren lifsi sillimanitlere dönüşmesi ortamda artan sıcaklığa bağlı olarak ilerleyen bir metamorfizmaya işaret eder. Fındıklı ve Sütüven formasyonlarına ait gnays ve metapelitik şistler içerisinde disten ve sillimanitin birlikte bulunması; üst amfibolit fasiyesinde gelişen ikinci evre metamorfizma şartları altında da distenin hala korunduğunu gösterir (Kansun & Ökmen, 2019; Kansun vd., 2019).

Sillimanitler lifsi şekilleri ve düz sönmeleri ile belirgindir. Bu lifsi sillimanit kristalleri; Fındıklı formasyonuna ait biyotitli ve amfibollü gnayslarda kahve renkli biyotit ve hornblendlerin (kahvemsi yeşil) oluşturduğu (Şekil 11a ve 11b), Fındıklı formasyonuna ait metapelitik şistler ile Sütüven formasyonuna ait mika gnays ve biyotit gnayslarda ise kahve renkli biyotit ve muskovitlerin oluşturduğu (Şekil 6d, 10c, 10d, 10e, 11c ve 11d) S_2

foliasyonuna paralel dizilmişlerdir. Sillimanitler, içerisinde yer aldığı tüm gnays ve metapelitik şistlerde ortoklasla birlikte görülmektedir (Kansun & Ökmen, 2019; Kansun vd., 2019).

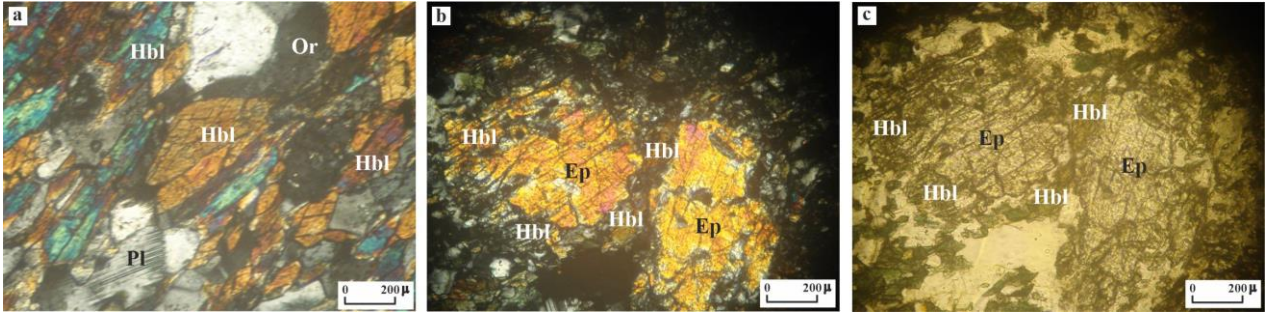


Şekil 11. (a) ve (b) Fındıklı formasyonuna ait granat-biyotit gnays içerisinde izlenen biyotitden dönüşen sillimanit (Si), biyotit (By) ve kuvars (Q). **(c) ve (d)** Sütüven formasyonuna ait sillimanit-biyotit-gnays içerisinde yer alan biyotit, biyotitden dönüşen lifsi sillimanit, biyotitden dönüşen klorit (Kl), plajyoklas (Pl) ve kuvars. **(e) ve (f)** Sütüven formasyonuna ait sillimanit-biyotit-gnays içerisinde yer alan biyotit, biyotitden dönüşen lifsi sillimanit, plajyoklas ve kuvars. Hbl: Hornblend (kahvemsi yeşil). **a, c, e:** // Nikol, **b, d, f:** / Nikol (Kansun & Ökmen, 2019 ve Kansun vd., 2019'dan).

Figure 11. (a) and (b) Sillimanite (Si) transformed from biotite, biotite (By) and quartz (Q) observed in garnet-biotite gneiss belonging to the Fındıklı formation. **(c) and (d)** Biotite, fibrous sillimanite transformed from biotite, chlorite (Kl) transformed from biotite, plagioclase (Pl) and quartz in sillimanite-biotite-gneiss belonging to the Sütüven formation. **(e) and (f)** Biotite, fibrous sillimanite transformed from biotite, plagioclase and quartz in sillimanite-biotite-gneiss belonging to the Sütüven formation. Hbl: Hornblende (brownish green). **a, c, e:** // Nicol, **b, d, f:** / Nicol (from Kansun & Ökmen, 2019 and Kansun et al., 2019).

Fındıklı formasyonu içerisindeki sillimanit kristalleri; amfibolit fasiyesinde gelişen ilk evre metamorfizmasından sonra; biyotitli ve amfibollü gnayslarda özellikle biyotit ve bazen de distenden itibaren (Şekil 11a ve 11b), metapelitik şistlerde ise özellikle biyotit ve bazen de muskovitten itibaren (Şekil 6d, 10c, 10d ve 10e) ilerleyen reaksiyonlarla, üst amfibolit fasiyesindeki ikinci metamorfizma şartları altında açığa çıkmıştır. Sütüven formasyonuna ait mika gnays ve biyotit gnayslarda gözlenen lifsi sillimanit kristalleri ise, amfibolit fasiyesinde gelişen ilk evre metamorfizmasından sonra, üst amfibolit fasiyesindeki ikinci metamorfizma şartlarında, biyotitden itibaren ilerleyen reaksiyonlarla oluşmuştur (Şekil 11c, 11d, 11e ve 11f) (Kansun & Ökmen, 2019; Kansun vd., 2019).

Fındıklı formasyonuna ait amfibollü gnayslar ve biyotitli gnayslar ve Sütüven formasyonuna ait hornblend-biyotit gnayslarda izlenen kahvemsi yeşil renkli ve 17°-21° arası eğik sönmeli hornblendler (çermakit ?) S₂ foliasyonuna paralel dizilmiş uzun prizmatik kristaller halindedir (Şekil 7c, 9a, 9b, 11a, 11b, 12a). Özellikle, Fındıklı formasyonuna ait epidot-hornblend gnayslarda, biyotit+hornblend+distenin oluşturduğu S₂ foliasyonu tarafından çepeçevre sarılan ve F₂ deformasyon evresine göre pretektonik kristalleşen, dolayısıyla ilk evre metamorfizması olan amfibolit fasiyesindeki metamorfizma ile gelişen epidot porfiroblastları (Şekil 7c), kenarlarından itibaren ilerleyen reaksiyonlarla kahvemsi yeşil renkli hornblende dönüşmüştür (Şekil 12b ve 12c). Bu Epidot → Hornblend (kahvemsi yeşil) dönüşümü, ortamda sıcaklık artışı ile birlikte, orta dereceli metamorfizmanın yüksek basınç alanlarında amfibolit fasiyesinde gelişen ilk evre metamorfizmasından sonra, Kazdağı Masifi içerisinde gelişen ve ikinci evre metamorfizma olarak izlenen yüksek sıcaklıklı üst amfibolit fasiyesi şartlarını yansıtır (Kansun & Ökmen, 2019; Kansun vd., 2019).



Şekil 12. Fındıklı formasyonuna ait; (a) hornblend gnays. (b) ve (c) Fındıklı formasyonuna ait epidot-hornblend gnays içerisinde kenarlarından itibaren kahvemsi yeşil renkli hornblende (Hbl) dönüşmüş epidot (Ep) porfiroblastı. Pl: Plajiyoklas, Or: Ortoklas. a, b: // Nicol, c: / Nicol (Kansun & Ökmen, 2019 ve Kansun vd., 2019'dan).

Figure 12. In Fındıklı formation; (a) hornblende gneiss. (b) and (c) Epidote (Ep) porphyroblast transformed into brownish green hornblende (Hbl) from the its edges in epidote-hornblende gneiss belonging to the Fındıklı formation. Pl: Plagioclase, Or: Orthoclase. a, b: // Nicol, c: / Nicol (from Kansun & Ökmen, 2019 and Kansun et al., 2019).

Sütüven formasyonuna ait mika gnays ve biyotit gnayslar yer yer anateksiye uğramıştır. Özellikle inceleme alanının batısında Kapıdağ Tepe civarında gnayslardan itibaren anateksi ve migmatit oluşumları yaygın olarak izlenir (Şekil 5b). Ayrıca, migmatitlere geçiş gösteren gnaysları ifade eden bantlı yapı lit-par-lit oluşumları gözlenmektedir.

Kazdağ Masifi'nde, özellikle Fındıklı ve Sütüven formasyonlarına ait metapelitik (mikaşist ve biyotitistler), metapsammitik-metasemipelitik (mika gnays ve biyotit gnays) ve metanötr (amfibollü gnays) kayalarda izlenen tüm bu özellikler, Kazdağ Masifi'ndeki epidot-amfibolit fasiyesinden amfibolit fasiyesinin stavrolit-almandin alt fasiyesine doğru ilerleyen tarzda gelişen orta sıcaklık - yüksek basınçlı başlangıç metamorfizmasından sonra, Masif'in, etkileri özellikle Fındıklı ve Sütüven formasyonlarında izlenen, ilerleyen tarzda (artan sıcaklık) ikinci bir metamorfizmaya uğradığına işaret eder.

İlerleyen bu metamorfizma sonucu, Fındıklı ve Sütüven formasyonlarına ait metapelitik (mikaşist ve biyotitistler), metapsammitik-metasemipelitik (mika gnays ve biyotit gnays) ve metanötr (amfibollü gnays) kayalarda;

- Sillimanit + Ortoklas + Almandin + Biyotit + Kuvars (Şekil 13 – (1)),
- Almandin + Biyotit + Ortoklas + Andezin + Kuvars (Şekil 13 – (2)),
- Sillimanit + Disten + Biyotit + Ortoklas + Kuvars,
- Sillimanit + Ortoklas + Almandin + Biyotit + Andezin + Kuvars

parajenezleri; Fındıklı formasyonunda “epidot-amfibolit fasiyesinden amfibolit fasiyesinin stavrolit-almandin alt fasiyesi”ne doğru ilerleyen tarzda, Sütüven formasyonunda ise “amfibolit fasiyesinin stavrolit-almandin alt fasiyesi”nde gelişen orta sıcaklık-yüksek basınçlı başlangıç metamorfizmasından sonra, ortamda sıcaklığın arttığını ve *Kazdağ Masifi'nin, etkileri sadece Fındıklı ve Sütüven formasyonlarında tipik olarak izlenen, üst amfibolit fasiyesi şartlarını gösteren ve “sillimanit-almandin-ortoklas alt fasiyesi”ne kadar ulaşan ikinci bir metamorfizmaya uğradığını* gösterir (Şekil 13).

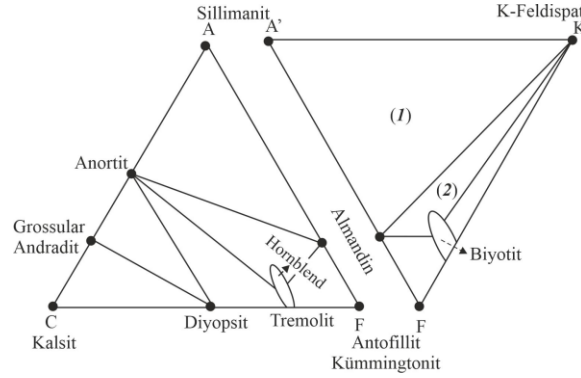
4.2.3. Kazdağ Masifi'nde birinci evre metamorfizmanın P-T şartları

4.2.3. P-T conditions of first phase metamorphism within the Kazdağ Massif

Kazdağ Masifi'nde izlenen ve yukarıda bahsedilen “epidot-amfibolit fasiyesinden amfibolit fasiyesinin stavrolit-almandin alt fasiyesine doğru ilerleyen tarzda gelişen orta-sıcaklık-yüksek basınçlı başlangıç metamorfizması”nın basınç – sıcaklık şartları hakkında şu yorumlar yapılabilir:

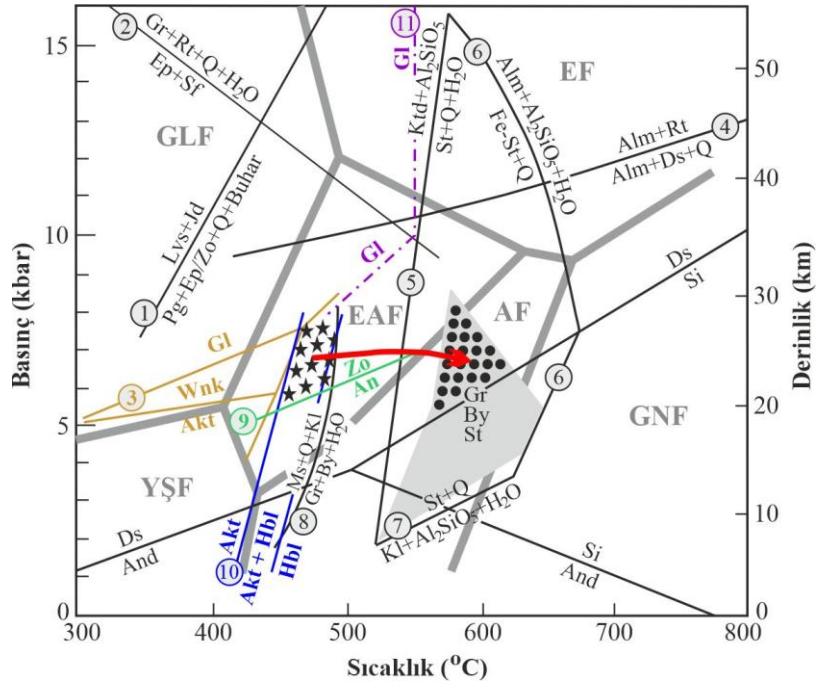
Fındıklı formasyonuna ait epidot-hornblend gnayslarda plajiyoklas porfiroblastları içerisinde S₁ foliasyonunu oluşturan epidotların hornblend (soluk yeşil-yeşil) ve kloritle birlikte bulunması ve bu kayalarda albit bileşimli plajiyoklaslara rastlanması, bu amfibolit fasiyesindeki metamorfizmanın başlangıcının “epidot-amfibolit fasiyesi”nde gerçekleştiğini göstermektedir. Epidot-amfibolit fasiyesi metamorfizması “hornblend + oligoklas + epidot + Mg-klorit” parajenezi ile belirlenmiştir.

Epidot-amfibolit fasiyesinin kararlılık alanı (Takasu, 1989) Şekil 14 'deki basınç-sıcaklık diyagramında görülmektedir.



Şekil 13. Amfibolit fasiyesinin sillimanit-almandin-ortoklas alt fasiyesinde gözlenen topluluklar (Winkler, 1967). A, A', C, F ve K formülleri Şekil 8 'de verilmiştir.

Figure 13. The assemblages observed in sillimanite-almandine-orthoclase sub-facies of amphibolite facies (Winkler, 1967). Formulas A, A', C, F and K are given in Figure 8.



Şekil 14. Kazdağ Masifi'nde başlangıç metamorfizmasının basınç-sıcaklık şartlarını gösteren petrojenetik diyagram. Fasiyes sınırları kalın gri çizgi ile gösterilmiş ve Takasu (1989)'dan alınmıştır. Gri boyalı alan, amfibolit fasiyesini gösteren Gr+Byt+St parajenezinin kararlı olduğu alandır (Bucher & Grapes, 2011'den). İçi dolu yıldız ve içi dolu dairelerin olduğu alanlar, Kazdağ Masifi'ne ait metamorfizma izlenen basınç-sıcaklık şartlarını ve kırmızı ok Kazdağ Masifi'nde ilerleyen metamorfizma yönünü gösterir. Reaksiyon (1) Heinrich ve Althaus (1988)'den, reaksiyon (2) Manning ve Bohlen (1991)'den, reaksiyon (4)-(5)-(6)-(7) ve sillimanit-disten-andaluzit reaksiyon çizgileri Yardley (1989)'dan, reaksiyon (8) Pattison ve Tracy (1991)'den, reaksiyon (9) Sorensen (1986)'dan alınmıştır. Kahve çizgiler (3) aktinolit, winkit ve glokofanın kararlılık alanlarını gösterir (Otsuki & Banno, 1990'dan). Aktinolit – hornblend geçişini gösteren mavi çizgiler (10) Barker (1990)'dan alınmıştır. Menekşe noktalı çizgi (11) glokofanın maksimum duraylılık alanını gösteren çizgidir (Maresch, 1977'den). GLF: Glokofanit fasiyesi, YŞF: Yeşilışt fasiyesi, EAF: Epidot-amfibolit fasiyesi, AF: Amfibolit fasiyesi, GNF: Granulit

fasiyesi, EF: Eklojit fasiyesi, Gl: Glokofan, Wnk: Winkit, Akt: Aktinolit, Hbl: Hornblend, Lvs: Lavsonit, Jd: Jadeyit, Pg: Paragonit, Ep: Epidot, Zo: Zoizit, Q: Kuvars, Ktd: Kloritoyid, St: Stavrolit, Fe-St: Fe-stavrolit, Alm: Almandin, Rt: Rutil, Kl: Klorit, Ms: Muskovit, Gr: Granat, By: Biyotit, Ds: Disten, Si: Sillimanit, And: Andaluzit, Sf: Sfen.

Figure 14. The petrogenetic diagram showing the pressure-temperature conditions of the initial metamorphism in the Kazdağ Massif. The facies boundaries have been shown with the thick gray line and have been taken from Takasu (1989). The gray colored area is the stable area of Gr+Byt+St paragenesis showing amphibolite facies (from Bucher & Grapes, 2011). The areas with solid stars and solid circles indicate the pressure-temperature conditions observed in the metamorphics of the Kazdağ Massif, and the red arrow indicates the progressive metamorphism direction in the Kazdağ Massif. Reaction (1) has been taken from Heinrich and Althaus (1988). Reaction (2) has been taken from Manning and Bohlen (1991). Reaction (4)-(5)-(6)-(7) and sillimanite-disthene-andalusite reaction lines have been taken from Yardley (1989). Reaction (8) has been from Pattison and Tracy (1991). Reaction (9) has been from Sorensen (1986). Brown lines (3) show areas of stability of actinolite, winkit, and glaucophane (from Otsuki & Banno, 1990). The blue lines (10) showing the actinolite-hornblende transition are taken from Barker (1990). The violet dotted line (11) is the line showing the area of maximum stability of glaucophane (from Maresch, 1977). GLF: Glaucophanite facies, YŞF: Greenschist facies, EAF: Epidote-amphibolite facies, AF: Amphibolite facies, GNF: Granulite facies, EF: Eclogite facies, Gl: Glaucophane, Wnk: Winkit, Akt: Akt, Hbl: Hornblend, Lvs: Lavsonit, Jd: Jadeite, Pg: Paragonite, Ep: Epidote, Zo: Zoizite, Q: Quartz, Ktd: Chloritoid, St: Staurolite, Fe-St: Fe-staurolite, Alm: Almandine, Rt: Rutile, Kl: Chlorit, Ms: Muscovite, Gr: Garnet, By: Biotite, Ds: Kyanite, Si: Sillimanite, And: Andaluzite, Sf: Sphene.

Kazdağ Masifi'nde, Fındıklı formasyonuna ait epidot-hornblend gnayslarda, epidotla birlikte hornblendlerin (soluk yeşil-yeşil) ve kloritlerin bulunması, epidot-amfibolit fasiyesinin kararlı olduğu alan ile birlikte düşünüldüğünde, ortamda, epidot-amfibolit fasiyesinde gerçekleşen metamorfizmada sıcaklığın 430 °C 'yi aştığını gösterir (Şekil 14). Epidot-hornblend gnayslarda granatın gözlenmemesi, ortamda, Pattison ve Tracy (1991)'in belirttiği Muskovit+Kuvars+Klorit → Granat+Biyotit+H₂O reaksiyonunun (Şekil 14) gerçekleşmediğine işaret eder. Dolayısıyla, epidot-amfibolit fasiyesinde gerçekleşen bu metamorfizmanın üst sıcaklık şartları, maksimum 500 °C ile sınırlanır (Şekil 14).

Fındıklı formasyonuna ait epidot-hornblend gnayslarda zoisitlerin gözlenmesi, buna kaşılık anortitin yeralmaması (Şekil 14, Reaksiyon 9), ortamda, epidot-amfibolit fasiyesinde gerçekleşen metamorfizmada, minimum 430 °C sıcaklık şartı ile birlikte düşünüldüğünde, alt basınç sınırının minimum 5 kbar olduğunu gösterir (Şekil 14). Kazdağ Masifi içerisinde glokofan gözlenmemiştir. Bu nedenle, ortamda glokofanın bulunmaması, Fındıklı formasyonuna ait epidot-hornblend gnayslarda epidotla birlikte hornblendlerin (soluk yeşil-yeşil) ve kloritlerin yer alması ve ayrıca epidot-hornblend gnayslarda granatın gözlenmemesinden ötürü ortamda maksimum 500 °C sıcaklık şartının olması; epidot-amfibolit fasiyesinde gerçekleşen metamorfizmanın üst basınç sınırını 8 kbar ile sınırlar (Şekil 14).

Sonuç olarak, Kazdağ Masifi'nde, etkileri Fındıklı formasyonuna ait epidot-hornblend gnayslarda tipik olarak gözlenen epidot-amfibolit fasiyesindeki metamorfizma yaklaşık 430-500 °C sıcaklık ve 5-8 kbar basınç şartlarında gerçekleşmiş olmalıdır (Şekil 14, yıldız ile taralı alan).

Kazdağ Masifi'ne ait granat-biyotit gnays (Fındıklı formasyonu) ve sillimanit-biyotit gnayslarda (Sütüven formasyonu) gözlenen ve orta dereceli metamorfizmanın (amfibolit fasiyesi) orta-yüksek basınç alanlarına işaret eden (Winkler, 1970) stavrolit, amfibolit fasiyesinin tipik bir mineralidir (Şekil 14). Disten tipi bir jeoterm boyunca ilerleyen metamorfizmada; 520 °C 'de biyotit, 540 °C 'de granat ve son olarak yine 540 °C 'de stavrolit oluşur. "Granat-biyotit-stavrolit" birlikteliği amfibolit fasiyesinin büyük bir bölümü için karakteristiktir (Bucher & Grapes, 2011; Şekil 14). Kazdağ Masifi'ne ait metasemipelitik kayalarda stavrolitin olduğu ortamlarda "granat+biyotit+stavrolit" parajenezi gözlenir. Bu mineral parajenezi, Şekil 14 'de gösterilen basınç ve sıcaklık aralıklarında (gri renkli boyalı alan) kararlıdır (Bucher & Grapes, 2011). Dolayısıyla, metasemipelitik kayalardaki "granat+biyotit+stavrolit" parajenezi gözönüne alındığında, Kazdağ Masifi'nde, epidot-amfibolit fasiyesinden sonra amfibolit fasiyesi'nin "stavrolit-almandin alt fasiyesi"ne doğru ilerleyen tarzda bir metamorfizma gelişmiştir. Kazdağ Masifi'ndeki metasemipelitik

kayaçlarda gözlenen “granat+biyotit+stavrolit” parajenezine göre, “stavrolit-almandin alt fasiyesi”nde gelişen bu amfibolit fasiyesindeki metamorfizma, maksimum 8 kbar basınçta gerçekleşmiş olmalıdır (Şekil 14). Stavrolit içeren metasemipelitik kayaçlarda distenin gözlenmesi ve sillimanitin birincil olarak görülmemesi, basıncın alt sınırını 5 kbar ile sınırlar. Dolayısıyla, Kazdağ Masifi’nde amfibolit fasiyesinin “stavrolit-almandin alt fasiyesi”nde gerçekleşen metamorfizma, 5-8 kbar basınç şartlarında gerçekleşmiş olmalıdır (Şekil 14; İçi dolu daire ile taralı alan).

Metasemipelitik kayaçlarda granat+biyotit+stavrolit parajenezinin gözlenmesi, stavrolitle distenin birlikte bulunması, bu ortamda birincil sillimanitin olmaması, amfibolit fasiyesinin “stavrolit-almandin alt fasiyesi”nde gerçekleşen bu metamorfizmada sıcaklık şartlarının 550-625 °C arasında olduğunu göstermektedir (Şekil 14; İçi dolu daire ile taralı alan).

Dolayısıyla, Kazdağ Masifi başlangıçta; Fındıklı formasyonu “epidot-amfibolit fasiyesi”nden amfibolit fasiyesinin stavrolit-almandin alt fasiyesi’ne doğru ilerleyen tarzda, Sütüven formasyonu “amfibolit fasiyesinin stavrolit-almandin alt fasiyesi”nde, Tozlu formasyonu ise amfibolit fasiyesinde (muhtemelen stavrolit-almandin alt fasiyesi) metamorfizmaya uğramıştır. Epidot-amfibolit fasiyesindeki metamorfizma 430-500 °C sıcaklık ve 5-8 kbar basınç şartlarında, bunu takip eden, amfibolit fasiyesinin “stavrolit-almandin alt fasiyesi”nde gerçekleşen metamorfizma ise 550-625 °C sıcaklık ve 5-8 kbar basınç şartlarında gerçekleşmiş olmalıdır (Şekil 14).

4.2.4. Kazdağ Masifi’nde ikinci evre metamorfizmanın P-T şartları

4.2.4. P-T conditions of the second phase metamorphism within the Kazdağ Massif

Kazdağ Masifi içerisindeki Fındıklı formasyonunda gözlenen amfibollü gnays, biyotitli gnays, mikaşist ve biyotitlişistler ile Sütüven formasyonunda gözlenen mika gnays ve biyotit gnayslarda, kahve renkli biyotitler ve kısmen muskovitler ilerleyen reaksiyonlarla lifsi sillimanite dönüşmüştür. Fındıklı formasyonunda gözlenen amfibollü gnays ve biyotitli gnayslarda, disten ilerleyen reaksiyonlarla lifsi sillimanite dönüşmüştür. Disten, Sütüven formasyonuna ait sillimanit-biyotit gnayslarda, biyotit ve muhtemelen stavrolitden itibaren ilerleyen reaksiyonlarla açığa çıkmıştır. Fındıklı formasyonuna ait granat-biyotit-gnayslar ve Sütüven formasyonuna ait sillimanit-biyotit gnayslarda, ortamda ilerleyen reaksiyonlarla (artan sıcaklık) birlikte, stavrolitin yerini granat ve/veya disten almıştır. Yine bu kayaçlarda, “Muskovit+Kuvars → Sillimanit+Ortoklas+Su” reaksiyonu gerçekleşmiştir. Bütün bu özellikler, amfibolit fasiyesinde gerçekleşen ilk metamorfizmadan sonra, ortamda sıcaklığın arttığını buna karşılık basıncın azaldığını göstermektedir.

Sütüven formasyonuna ait mika gnays ve biyotit gnayslar yer yer anateksiye uğramış ve migmatitler oluşmuştur. Kazdağ Masifi içerisinde “Muskovit+Kuvars → Sillimanit+Ortoklas+Su” reaksiyonunun gerçekleşmesi, Masif’teki migmatit oluşumları ile birlikte düşünüldüğünde, sıcaklığın 650 °C ‘yi geçtiğini gösterir (Şekil 15). Kazdağ Masifi içerisinde kordiyeritin gözlenmemesi ve ortamda “sillimanit + almandin” mineral topluluğunun yer alması, etkili olan basıncın alt sınırını 3 kbar ile sınırlar (Şekil 15). Kazdağ masifi metamorfizmalarında ortoamfibol ve ortoproksenlerin gözlenmemesi, “Muskovit+Kuvars → Sillimanit+Ortoklas+Su” reaksiyonu ile birlikte düşünüldüğünde, etkili olan metamorfizmada sıcaklığın üst sınırının 725 °C ‘yi, basıncın ise 6 kbar ‘ı geçmediğine işaret eder (Şekil 15).

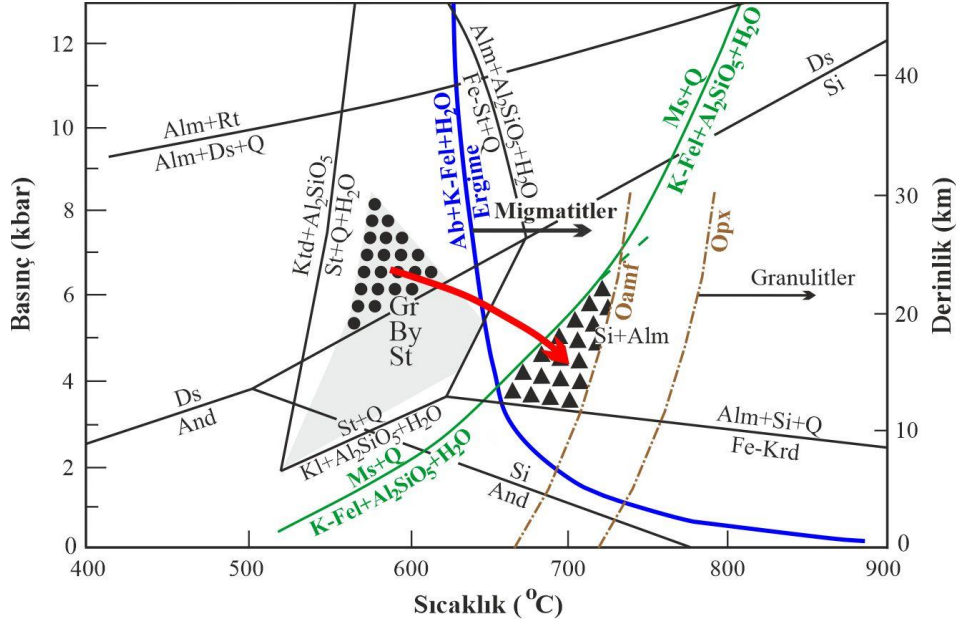
Bütün bu özellikler ve Kazdağ Masifi içerisindeki mineral parajenezleri gözönüne alındığında; Kazdağ Masifi, Fındıklı formasyonunda “epidot-amfibolit fasiyesi”nden amfibolit fasiyesinin stavrolit-almandin alt fasiyesi’ne doğru ilerleyen tarzda, Sütüven formasyonu “amfibolit fasiyesinin stavrolit-almandin alt fasiyesi”nde gelişen başlangıç metamorfizmasından (Şekil 15, içi dolu daire ile taralı alan) sonra, etkileri özellikle Fındıklı ve Sütüven formasyonlarında tipik olarak izlenen, 650-725 °C sıcaklık ve 3-6 kbar basınç şartları altında, üst amfibolit fasiyesinin “sillimanit-almandin-ortoklas alt fasiyesi”ne kadar ulaşan ilerleyen bir metamorfizmaya uğramıştır (Şekil 15, içi dolu üçgen ile taralı alan). Bu ikinci metamorfizma etkileri Tozlu formasyonunda izlenememiştir.

4.2.5. Kazdağ Masifi’nde üçüncü evre metamorfizma ve P-T şartları

4.2.5. Third phase metamorphism and P-T conditions within the Kazdağ Massif

Fındıklı formasyonuna ait amfibollü gnays, biyotitli gnays ve metapelitikşistlerde ve Sütüven formasyonuna ait paragnays ve ortognayslarda; granat, kahve biyotit, hornblend klorite (ripidolit) ve aktinolit (Şekil 11c,

11d, 16a, 16b, 16d ve 16e), plajiyoklas ve ortoklas serisite (Şekil 16c) dönüşmüştür. Tozlu formasyonuna ait; amfibolitlerde hornblend klorite (ripidolit), plajiyoklas ve ortoklas serisite, metadunitlerde relik olivin serpentine ve klorite (ripidolit), metaproksenitlerde relik klinoprosen ve relik ortoprosen klorite (ripidolit) ve metaproksenhornblenditlerde relik hornblend ve relik klinoprosen klorite dönüşmüştür.



Şekil 15. $P = P_{H_2O}$ olan pelitik metasedimentler için petrojenetik diyagram (Yardley, 1989'dan). Gri alan amfibolit fasiyesini gösteren Gr+By+St parajenezinin kararlı olduğu alandır (Bucher & Grapes, 2011). İçi dolu daireler ve içi dolu üçgenlerin olduğu alanlar, Kazdağ Masifi'ne ait metapelitik-metasemipelitik-metasammitik kayalarda izlenen birinci ve ikinci metamorfizma evrelerinin basınç-sıcaklık şartlarını, kırmızı ok Kazdağ Masifi'nde ilerleyen metamorfizma yönünü gösterir. Ab: Albit, Krd: Kordiyerit, K-Fel: K-feldispat, An: Anortit, Oamf: Ortoamfibol, Opx: Ortoprosen, diğer mineral simgeleri Şekil 14 'deki gibidir.

Figure 15. Petrogenetic diagram for pelitic metasediments with $P = P_{H_2O}$ (from Yardley, 1989). The gray area is the stable area of Gr+By+St paragenesis showing amphibolite facies (Bucher & Grapes, 2011). The areas with solid circles and solid triangles indicate the pressure-temperature conditions of the first and second metamorphism stages observed in the metapelitic-metasemipelitic-metasammitic rocks of the Kazdağ Massif, and the red arrow indicates the progressive metamorphism direction in the Kazdağ Massif. Ab: Albite, Krd: Cordierite, K-Fel: K-feldspar, An: Anorthite, Oamf: Orthoamphibole, Opx: Orthoproxen, other mineral symbols are as in Figure 14.

Özellikle Tozlu formasyonuna ait metaproksenitler ve metaproksenhornblenditlerde “klorit+epidot+zoisit/klinozoisit”, serpantinlerde “serpantin+klorit+tremolit+talk” parajenezleri (Şekil 16f) gözlenmektedir.

Bu özellikler, Kazdağ Masifi'nde üst amfibolit fasiyesinde gelişen ikinci evre metamorfizmadan sonra, Fındıklı, Sütüven ve Tozlu formasyonlarının, gerileyen tarzda yeşilist fasiyesinde metamorfizma geçirdiğini gösterir.

Gerileyen bu metamorfizma sonucu, Fındıklı formasyonuna ait amfibollü ve biyotitli gnays ile Sütüven formasyonuna ait mika gnays ve biyotit gnayslarda;

Muskovit + Biyotit + Mg-Fe Klorit + Kuvars + Albit (Şekil 17 - (1)),

Muskovit + Biyotit + Mikroklin + Kuvars (Şekil 17 - (2)),

Muskovit + Mg-Fe Klorit + Kuvars,

Fındıklı formasyonuna ait amfibollü ve biyotitli gnayslarda;

Kalsit + Epidot + Klorit + Albit + Kuvars,

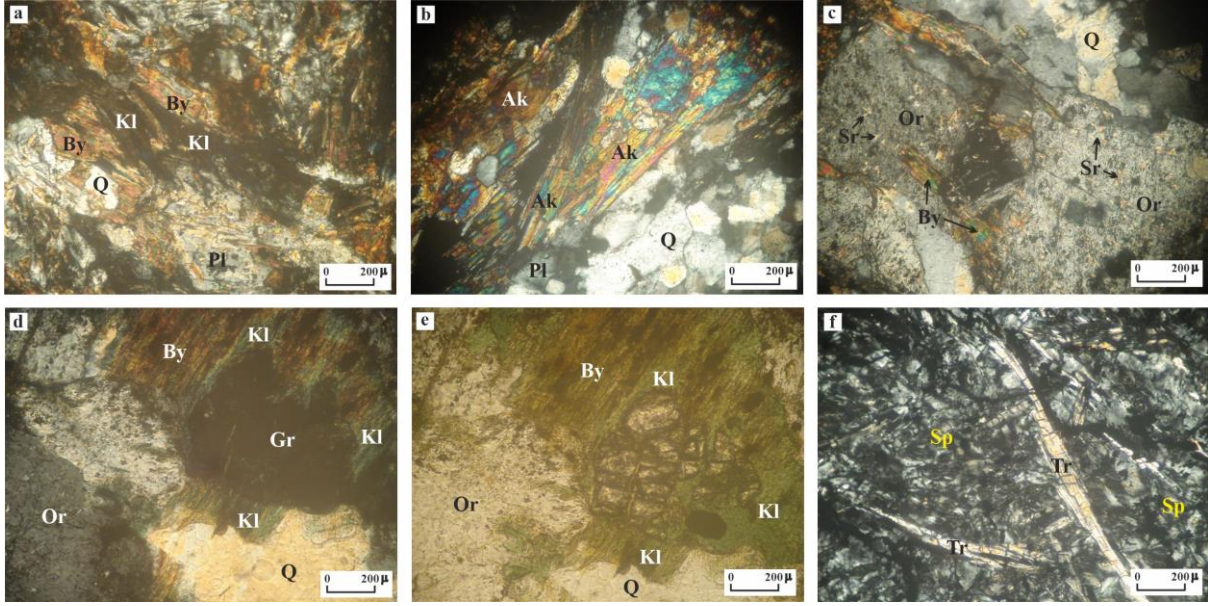
Sütüven formasyonuna ait granitik gnayslarda;

Aktinolit + Mg-Fe Klorit + Epidot + Albit (Şekil 17 - (3)),

Mg-Fe Klorit + Epidot + Albit + Kuvars
ve Tozlu formasyonuna ait serpantinlerde;

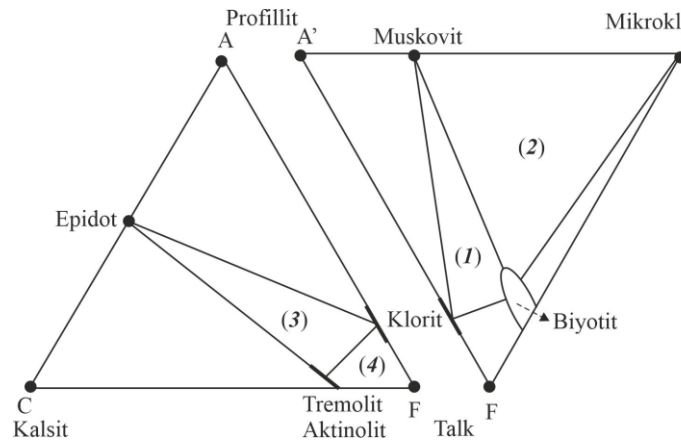
Tremolit + Klorit + Talk (Şekil 17 - (4))

parajenezleri, yeşilşist fasiyesinin (Abukama tip) “kuvars-albit-muskovit-biyotit” alt fasiyesi”ne işaret eder (Şekil 17).



Şekil 16. (a) ve (b) Fındıklı formasyonuna ait granat-biyotit gnays ve epidot-hornblend gnaysda biyotitten (By) dönüşen klorit (Kl) ve muhtemelen hornblendden dönüşen aktinolitler (Ak). (c) Sütüven formasyonuna ait mika gnays içerisinde ortoklasdan (Or) dönüşen serisitler (Sr). (d) ve (e) Sütüven formasyonuna ait granitik gnays içerisinde granat (Gr) ve biyotitten dönüşen kloritler. (f) Tozlu formasyonuna ait serpantin içerisinde serpantin (Sp) ve tremolit (Tr). Q: Kuvars, Pl: Plajyoklas. a, b, c, d, f: // Nikol, e: / Nikol (Kansun & Ökmen, 2019 ve Kansun vd., 2019’ dan).

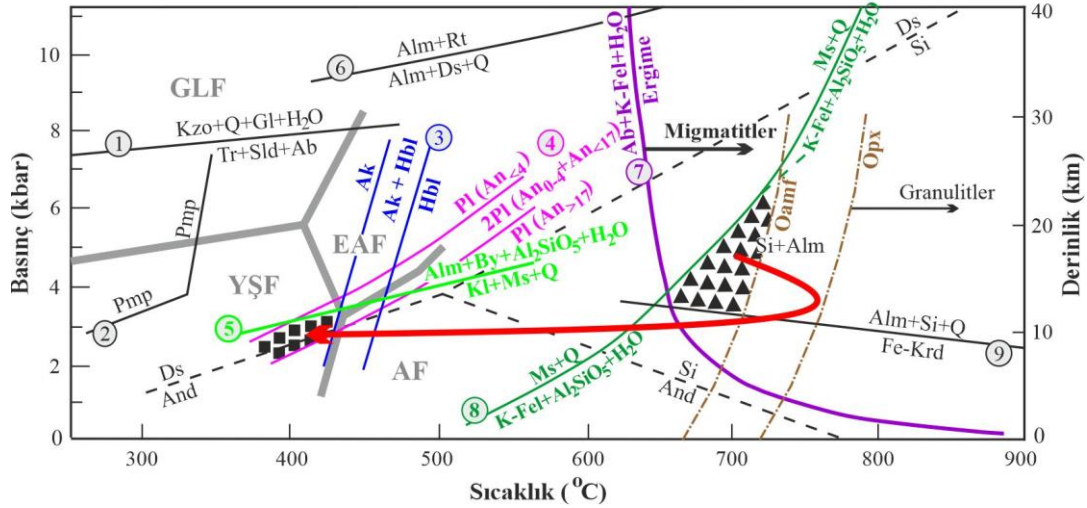
Figure 16. (a) and (b) Chlorite (Kl) transformed from biotite (By) and actinolites (Ak) possibly transformed from hornblende in garnet-biotite gneiss and epidote-hornblende gneiss belonging to the Fındıklı formation. (c) Sericites (Sr) transformed from orthoclase (Or) in mica gneiss belonging to the Sütüven formation. (d) and (e) Chlorites transformed from garnet (Gr) and biotite in granitic gneiss belonging to the Sütüven formation. (f) Serpentine (Sp) and tremolite (Tr) in serpentinite belonging to the Tozlu formation. Q: Quartz, Pl: Plagioclase. a, b, c, d, f: // Nicol, e: / Nicol (from Kansun & Ökmen, 2019 and Kansun et al., 2019).



Şekil 17. Yeşilşist fasiyesinin kuvars-albit-muskovit-biyotit alt fasiyesinde gözlenen topluluklar (Winkler, 1967). A, A', C, F ve K formülleri Şekil 8 'de verilmiştir.

Figure 17. The assemblages observed in the quartz-albite-muscovite-biotite sub-facies of the greenschist facies (Winkler, 1967). Formulas A, A', C, F and K are given in Figure 8.

Kazdağ Masifi'ne ait metapelit ve metasemipelitlerde yeşilist fasiyesine ait mineral toplulukları içerisinde, almandinin gözlenmemesi ve klorit+muskovit+kuvars parajenezinin bulunması, "Klorit+Muskovit+Kuars → Almandin+Al₂SiO₅+H₂O" reaksiyonunun (Şekil 18, Reaksiyon 5) gerçekleşmediğine işaret eder. Ayrıca, gerek Fındıklı formasyonuna ait epidot-hornblend gnaylarda ve gerekse Sütüven formasyonuna ait granitik gnaylarda aktinolit yer alır. Dolayısıyla, yeşilist fasiyesi şartlarında almandinin gözlenmemesi ve aktinolit kararlı olduğu üst sıcaklık sınırı, yeşilist fasiyesinin üst sıcaklık sınırı ile birlikte düşünüldüğünde, ortamda basıncın 3,5 kbar'dan az, sıcaklığın ise maksimum 430 °C olduğunu gösterir (Şekil 18).



Şekil 18. Kazdağ Masifi'nde ikinci ve üçüncü evre metamorfizmaların basınç-sıcaklık şartlarını gösteren petrojenetik diyagram. Fasiyes sınırları kalın gri çizgi ile gösterilmiş ve Takasu (1989)'dan alınmıştır. İçi dolu üçgenler ve içi dolu karelerin olduğu alanlar, Kazdağ Masifi'nde izlenen ikinci ve üçüncü metamorfizma evrelerinin basınç-sıcaklık şartlarını, kırmızı ok Kazdağ Masifi'nde ilerleyen metamorfizma yönünü gösterir. Reaksiyon (1) Maruyama vd. (1986)'dan, pumpellyitin duraylılık alanını gösteren çizgi (2) Powell vd. (1993)'den, aktinolit – hornblend geçişini gösteren mavi çizgiler (3) Barker (1990)'dan, plajiyoklas alanlarını gösteren pembe çizgiler (4) Maruyama vd. (1983)'den, reaksiyon (5) Joshi vd. (1994)'den alınmıştır. Reaksiyon (6)-(7)-(8)-(9), Al-silikat (disten-andaluzit-sillimanit) faz eğrileri ve ortoamfibol – ortoprosen duraylılık alanlarını gösteren kahve renkli çizgiler Yardley (1989)'dan alınmıştır. Kzo: Klinozoit, Tr: Tremolit, Sld: Seladonit, Pmp: Pumpellyit. Fasiyes ve diğer mineral simgeleri Şekil 14 ve 15 'deki gibidir.

Figure 18. The petrogenetic diagram showing the pressure-temperature conditions of the second and third stage metamorphisms in the Kazdağ Massif. The facies boundaries have been shown with a thick gray line and have been taken from Takasu (1989). The areas with solid triangles and solid squares indicate the pressure-temperature conditions of the second and third metamorphism stages observed in the Kazdağ Massif, and the red arrow indicates the progressive metamorphism direction in the Kazdağ Massif. Reaction (1) has been taken Maruyama et al. (1986). The line showing the stability area of pumpellyite (2) has been taken from Powell et al. (1993). Blue lines showing actinolite – hornblende transition (3) have been taken from Barker (1990). Pink lines showing plagioclase fields (4) have been taken from Maruyama et al. (1983). Reaction (5) has been taken from Joshi et al. (1994). Reaction (6)-(7)-(8)-(9), Al-silicate (kyanite-andalusite-sillimanite) phase curves and brown lines showing stability areas of orthoamphibole - orthoproxen have been taken from Yardley (1989). Kzo: Clinozoisite, Tr: Tremolite, Sld: Celadonite, Pmp: Pumpellyite. Facies and other mineral symbols are as in Figures 14 and 15.

Fındıklı ve Sütüven formasyonlarında yeşilist fasiyesinin karakteristiği olan albit bileşimli plajiyoklaslara rastlanılmaktadır. Fındıklı formasyonu içerisindeki plajiyoklasların anortit içeriği minimum % 6 'ya kadar (Ab₉₄An₀₆; Albit), Sütüven formasyonuna ait plajiyoklaslarda ise minimum % 5 'e kadar (Ab₉₅An₀₅; Albit) düşmektedir. Amfibolit fasiyesinde (özellikle almandin-amfibolit fasiyesi) plajiyoklasların anortit içeriği % 15 'den büyüktür (An ≥ % 15; Turner & Verhogen, 1960). Dolayısıyla, Kazdağ Masifi'ndeki son metamorfizmanın yeşilist fasiyesinde gerçekleştiği ve ayrıca Şekil 18 'de verilen Maruyama vd. (1983)'ün plajiyoklas kararlılık alanları (4) gözönüne alındığında, ortamda yeşilist fasiyesindeki metamorfizmada minimum basıncın 2 kbar, minimum sıcaklığın ise 375 °C olduğu görülür (Şekil 18).

Buna göre, Kazdağ Masifi'nde etkili olan yeşilşist fasiyesindeki metamorfizma 375-430 °C sıcaklık ve 2-3.5 kbar basınç şartlarında gerçekleşmiş olmalıdır (Şekil 18, içi dolu kare ile taralı alan).

5. Tartışma ve sonuçlar

5. Discussion and conclusions

Kazdağ Masifi tabanda, yaygın olarak amfibollü gnayslardan, üst seviyelerinde mikaşistlerden ve iri kristalli kristalize kireçtaşlarından oluşan Fındıklı formasyonu ile başlar. Bu formasyon, ayrıca, yaygın olarak kristalize kireçtaşı ara düzeyleri içerir. Üstte tektonik dokanakla, amfibolit ve metaofiyolitlerden yapılu Tozlu formasyonu yer alır. Altta ince bir gnays seviyesi ve bunun üzerinde kalın kristalize kireçtaşlarından oluşan Sarıkız formasyonu, Tozlu formasyonunu uyumsuzlukla örter. Masifin en üst seviyesini, yine tektonik bir dokanakla Sütüven formasyonu oluşturur. Bu formasyon amfibolit-granitik gnays-mermer bant ve mercekleri ve migmatit seviyeleri içeren gnayslardan yapıldır.

Kazdağ Masifi, özellikle Fındıklı ve Sütüven formasyonlarında yer alan metapelitik ve metabazik kayalarda gözlenen ve farklı metamorfizma şartlarında açığa çıkan mineral parajenezleri ve indeks minerallere göre, çok evreli metamorfizmaya maruz kalmıştır. Bingöl (1968, 1969), Kazdağ Masifi'nin yeşilşist fasiyesinden amfibolit fasiyesine ve hatta granülit fasiyesi başlangıcına kadar farklı mineral parajenezleri içerdiğini, amfibolit fasiyesi topluluklarının hem düşük hemde yüksek basınç metamorfizması izlerini taşıdığını belirtir. Gözler (1986), Masifin üç farklı metamorfizma zonu içerdiğini, bunların yeşilşist ve amfibolit fasiyesi parajenezlerini gösterdiğini söyler.

Kazdağ Masifi başlangıçta; Fındıklı formasyonu “epidot-amfibolit fasiyesinden amfibolit fasiyesinin stavrolit-almandin alt fasiyesi”ne doğru ilerleyen tarzda, Sütüven formasyonu “amfibolit fasiyesinin stavrolit-almandin alt fasiyesi”nde, Tozlu formasyonu ise amfibolit fasiyesinde (muhtemelen stavrolit-almandin alt fasiyesi) metamorfizmaya uğramıştır. Epidot-amfibolit fasiyesindeki metamorfizma özellikle Fındıklı formasyonunda tipik olarak gözlenir. Epidot-amfibolit fasiyesindeki metamorfizma 430-500 °C sıcaklık ve 5-8 kbar basınç şartlarında, bunu takip eden amfibolit fasiyesinin “stavrolit-almandin alt fasiyesi”nde gerçekleşen metamorfizma ise 550-625 °C sıcaklık ve 5-8 kbar basınç şartlarında ve 20-30 km derinlikte gerçekleşmiştir. Masif, bu başlangıç metamorfizmasından sonra, etkileri Fındıklı ve Sütüven formasyonlarında tipik olarak izlenen, 650-725 °C sıcaklık - 3-6 kbar basınç şartları altında ve 10-20 km derinlikte, üst amfibolit fasiyesinin “sillimanit-almandin-ortoklas alt fasiyesi”ne kadar ulaşan ilerleyen bir metamorfizmaya uğramıştır. Kazdağ Masifi son aşamada, etkileri Fındıklı, Sütüven ve Tozlu formasyonlarında izlenen 375-430 °C sıcaklık - 2-3.5 kbar basınç şartlarında ve ~10 km derinlikte, gerileyen tarzda yeşilşist fasiyesinde metamorfizmaya maruz kalmıştır. Bu çalışmada Kazdağ Masifi ile ilgili ortaya konan bu metamorfizma şartları Bingöl (1968, 1969) ve Gözler (1986)'nın bulguları ile uyumludur.

Okay vd. (1996), Sütüven formasyonu gnayslarından alınan iki örnekte, Pb buharlaştırma yöntemiyle yapılan zirkon radyometrik yaşını 308 ± 16 my (Üst Karbonifer) olarak belirlemiştir. Bingöl (1969), Kazdağ Masifi'ndeki iki gnays örneğinden K-Ar mika yaşlarını 26 ± 3 My ve 27 ± 3 My (Oligosen) olarak belirlemiştir. Okay ve Satır (2000), Kazdağları'nda metamorfik çekirdek kompleksinin tabanındaki gnayslarda muskovit ve biyotit Rb/Sr yaşlarının 20-18 my ve 24-20 my 'da (Üst Oligosen – Alt Miyosen) toplandığını ve bunun 5 ± 1 kbar basınç ve 640 ± 50 °C sıcaklık şartlarında yüksek sıcaklık metamorfizmasına işaret ettiğini söylemektedirler. Bölge ile ilgili ortaya konulan bu metamorfizma yaş verileri, Kazdağ Masifi'nin çok evreli metamorfizmaya uğradığını doğrular.

Bu verilere göre; Sütüven formasyonuna ait gnayslarda belirlenen Üst Karbonifer yaş verileri (Okay vd., 1996); muhtemelen, Kazdağ Masifi'nde, Fındıklı formasyonunda “epidot-amfibolit fasiyesinden amfibolit fasiyesinin stavrolit-almandin alt fasiyesi”ne doğru ilerleyen tarzda, Sütüven formasyonunda ise “amfibolit fasiyesinin stavrolit-almandin alt fasiyesi”nde izlenen ve 430-500 °C (epidot-amfibolit fasiyesi) - 550-625 °C sıcaklık (amfibolit fasiyesi) - 5-8 kbar basınç şartlarında gerçekleşen başlangıç metamorfizması ile ilişkilidir. Bingöl (1969)'un gnayslarda ve Okay ve Satır (2000)'in metamorfik çekirdek kompleksinin tabanındaki gnayslarda tanımladığı Oligosen yaşlı yüksek sıcaklık metamorfizmaları ise; muhtemelen, bu çalışmada Kazdağ Masifi'nde ikinci evre metamorfizması olarak tanımlanan ve Fındıklı ile Sütüven formasyonlarında izlenen, 650-725 °C sıcaklık - 3-6 kbar basınç şartlarında “üst amfibolit fasiyesinin sillimanit-almandin-ortoklas alt fasiyesi” şartlarında gerçekleşen, ilerleyen metamorfizma ile ilişkili olmalıdır.

Sütüven formasyonunun üst seviyelerinde gözlenen granitik gnayslar genelde masif görünümündedir. Buna karşılık, granitik gnayslar içerisindeki hornblendler, Sütüven formasyonuna ait mika gnays ve biyotit gnaysların foliasyonuna uyumlu bir şekilde aynı yönde dizilmişlerdir. [Hasözbek vd. \(2017\)](#), bu metagranitoidlerdeki zirkonların çekirdek kısımlarının yaklaşık 60-69 My (Üst Kretase – Paleosen) arasında, kenar kesimlerinin ise 22-26 My (Üst Oligosen) arasında yaşlar verdiğini ve bunların metamorfik kökenli olduğunu belirtmektedirler. [Hasözbek vd.](#)'nin metagranitoidlerde belirttiği bu son (Üst Oligosen) metamorfizma yaşları, Fındıklı ve Sütüven formasyonlarında ikinci evre metamorfizma olarak izlenen üst amfibolit fasiyesindeki yüksek sıcaklık metamorfizma yaşları (Oligosen) ile benzerdir. [Erdoğan vd. \(2009, 2013\)](#), Kazdağ Grubu içerisinde yer alan metagranitlerden U-Pb seyreltme ve $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ zirkon evaporasyon yöntemi ile $24,8 \pm 4,6\text{Ma} - 28,2 \pm 4,1\text{ My}$ (Oligosen) arasında değişen yaşlar elde etmişler ve bu yaşların metagranitlerin yerleşim yaşı olduğunu söylemişlerdir. Dolayısıyla, Sütüven formasyonunda izlenen granitik gnayslar Oligosen'de Kazdağ Masifi içerisine yerleşmişler ve buna eşlik eden Kazdağ Masifi'ndeki üst amfibolit fasiyesinde gerçekleşen yüksek sıcaklık metamorfizması sonucu, Sütüven formasyonunun mika gnays ve biyotit gnaysları ile uyumlu bir foliasyon kazanmışlardır.

[Şengün \(2016\)](#), Kazdağ Masifi'nde yüzeyleyen ofiyolitik metagabrolarda, kuvarsin Ti içeriğine ve rutilin Zr içeriğine göre $\sim 660\text{ }^\circ\text{C}$ ve $\sim 10\text{ kbar}$ basınç değerleri tespit etmiştir. Şengün, bu metaofiyolitlerin $\sim 35\text{ km}$ derinlikte amfibolit fasiyesinde metamorfizmaya uğradığını ve Kazdağ Masifi içerisinde yüksek basınç gösteren ayrı bir tektonik dilim olarak bulunduğunu belirtir. Ayrıca, ofiyolitik metagabrolarda amfibolit fasiyesindeki metamorfizmanın, Neo-Tetis okyanusuna ait İzmir-Ankara kolunun Sakarya Zonu'nun altına, kuzeye doğru dalması sonucu meydana geldiğine işaret eder. [Şengün \(2016\)](#), bu dalma-batmanın K-G yönlü bir sıkışmaya ve buna bağlı olarak, Kazdağ Masifi'nin içyapısının birbiri üzerine bindirmesine neden olduğunu belirtir. [Erdoğan vd. \(2009, 2013\)](#), Kazdağ Grubu'nda yüksek sıcaklık metamorfizması ve ona eşlik eden metagranit yerleşimini takiben, Kazdağ istifinin, Alpin hareketlerle içsel olarak birbirine geçtiğini ve en alttaki Tozlu metaofiyolitlerinin güneye doğru bindirdiğini belirtmişlerdir. [Erdoğan vd. \(2013\)](#), altta yatan metaofiyolitlerin, erken Alpin orojenezi sırasında kapanan Paleo-Tetis Okyanusu'nun kalıntıları olduğunu ileri sürerler.

İnceleme alanında metaofiyolitik bir karakter gösteren Tozlu formasyonu, Fındıklı ve Sütüven formasyonları arasında tektonik dokanaklarla yer alır. Tozlu formasyonu olarak ifade edilen metaofiyolitik kayaçlardan amfibolitlerin mineral parajenezleri, bu formasyonun amfibolit fasiyesinde (muhtemelen stavrolit-almandin alt fasiyesi) bir metamorfizmaya uğradığına işaret eder. Buna karşılık, Tozlu formasyonu; Fındıklı ve Sütüven formasyonlarında tipik olarak izlenen epidot-amfibolit fasiyesinden amfibolit fasiyesinin “stavrolit-almandin alt fasiyesi”ne kadar ulaşan başlangıç metamorfizmasıyla mineral parajenezleri açısından kısmen benzerlik gösterirken, Fındıklı ve Sütüven formasyonlarında izlenen üst amfibolit fasiyesinin “sillimanit-almandin-ortoklas alt fasiyesi”ndeki ikinci metamorfizma etkileri Tozlu formasyonunun litolojilerinde gözlenmemektedir. Dolayısıyla, Tozlu formasyonunda izlenen amfibolit fasiyesindeki metamorfizma, Fındıklı ve Sütüven formasyonlarında izlenen başlangıç ve ikinci Evre metamorfizmalarından bağımsız, farklı bir ortamda gelişmiştir. Buna göre, Tozlu formasyonu Kazdağ Masifi içerisinde ayrı bir tektonik dilimdir ve Fındıklı ile Sütüven formasyonları arasında tektonik dokanaklarla yer alan Tozlu formasyonunun Kazdağ Masifi içerisine yerleşmesi, dolayısıyla Kazdağ Masifi'nin kendi içerisinde tektonik dilimlenmesi, Fındıklı ve Sütüven formasyonlarında izlenen üst amfibolit fasiyesinde gerçekleşen ikinci metamorfizma evresinden sonra olmalıdır.

Kazdağ Masifi içerisinde tektonik dilimler şeklinde yer alan Fındıklı, Tozlu ve Sütüven formasyonları birbirleriyle uyumlu foliasyon gösterir. Bu uyumlu foliasyon; Tozlu formasyonunun Masif içerisine yerleşmesi ve dolayısıyla Kazdağ Masifinin kendi içerisinde tektonik dilimlenmesinden sonra, etkileri Kazdağ Masifi'nin tümünde (Fındıklı, Tozlu ve Sütüven formasyonları) izlenen ve $375\text{-}430\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık - $2\text{-}3,5\text{ kbar}$ basınç şartlarında gerçekleşen, gerileyen tarzdaki yeşilşist fasiyesi metamorfizması etkisiyle olmalıdır.

[Okay ve Satır \(2000\)](#), Kazdağ Masifi'nin 21 Ma (Alt Miyosen) yaşlı deforme olmamış bir granitoid tarafından kesildiğini belirtmektedir. Dolayısıyla, Kazdağ Masifi'nde Oligosen yaşlı üst amfibolit fasiyesindeki yüksek sıcaklık metamorfizmasını takip eden ve Masif'in tümünü etkileyen yeşilşist fasiyesindeki üçüncü evre metamorfizması Üst Oligosen – Alt Miyosen zaman aralığında gerçekleşmiş olmalıdır.

Teşekkür*Acknowledgement*

Bu çalışma, [Kansun ve Ökmen \(2019\)](#) tarafından hazırlanan ve Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından maddi olarak desteklenen 10201139 nolu projeden yararlanılarak yapılmıştır. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları değerli katkılarından dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederiz. Ayrıca, arazi çalışmaları sırasında yardımlarını gördüğümüz Kalender Kemerli ve Tufan Kolsuz'a teşekkür ederiz.

Yazar katkısı*Author contribution*

Bu çalışmada; arazi çalışmaları (haritalama ve örneklerin toplanması), kayaçlardan yapılan ince kesitlerin yorumlanması, çizim programları yardımıyla şekillerin çizilmesi ve makale yazımı Gürsel Kansun tarafından yapılmıştır.

Etik beyanı*Declaration of ethical code*

Bu çalışmada, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz. Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı*Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar*References*

- Barker, A. J. (1990). *Introduction to metamorphic textures and microstructures* (1st ed.). Blackie & Son Limited.
- Bingöl, E. (1968). *Contribution a l' etude geologique de laportie centrale et sud. Est du Masif de Kazdağ (Turquie)* [Doctoral Thesis, Faculty of Sciences University].
- Bingöl, E. (1969). Kazdağ Masifi'nin merkezi ve güneydoğu kısmının jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, 72, 110-123.
- Bingöl, E. (1971). Fiziksel yaş tayini metodlarını sınıflama denemesi ve Rb-Sr ve K-Ar metodlarının Kazdağ'da bir uygulaması. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 14, 1-16.
- Bingöl, E., Akyürek, B., & Korkmazer, B. (1973). Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve Karakaya Formasyonu'nun bazı özellikleri. *Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri* (s. 70-77), Ankara.
- Bucher, K., & Grapes, R. (2011). *Petrogenesis of metamorphic rocks* (8th ed.). Springer Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74169-5>
- Cavazza, W., Okay, A., & Zattin, M. (2009). Rapid early-middle Miocene exhumation of the Kazdağ Massif (western Anatolia). *International Journal of Earth Sciences*, 98(8), 1935-1947. <https://doi.org/10.1007/s00531-008-0353-9>
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Şentürk, Y., Yavaş, F., & Kar, H. (2004). New results on the lithostratigraphy of the Kazdağ Massif in northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13(2), 177-186.
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Ilgar, A., Dönmez, M., & Akçay, A. E. (2007). *1:100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Ayvalık – İ17 paftası* (MTA Rapor No. 98). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

- Erdoğan, B., Akay, E., Hasözbeek, A., Satır, M., & Siebel, W. (2009). *Yeni jeolojik veriler ışığında Kazdağ Masifi'nin tektonik evrimi*. 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı (s. 488). https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/6cb41a908909fee_ek.pdf
- Erdoğan, B., Akay, E., Hasozbek, A., Satır, M., & Siebel, W. (2013). Stratigraphy and tectonic evolution of the Kazdagi Massif (NW Anatolia) based on field studies and radiometric ages. *International Geology Review*, 55(16), 2060-2082. <https://doi.org/10.1080/00206814.2013.818756>
- Gözler, M. Z., Ergül, E., Akçaören, F., Genç, Ş., Akat, U., & Acar, Ş. (1984). *Çanakkale Boğazı doğusu Marmara Denizi güneyi Bandırma- Balıkesir- Edremit ve Ege Denizi arasındaki alanın jeolojisi ve komplikasyonu* (MTA Rapor No. 7430). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Gözler, M. Z. (1986). Kazdağ batısı Mıhlidere Vadisi'nin jeolojik petrografik incelenmesi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 29, 133-142.
- Gümüş, A. (1964). *Contribution al'etude geologique de secteur serpentinal de Kalabak Köy region D'Edremit, Turquie* (MTA Publication No. 117). Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü.
- Hasözbeek, A., Şengün, F., Doğan Külahcı, G. D., Zack, T., & Schmitt, K. A. (2017). *Isotope geochemistry and geochronology of the Kazdag Massif (Northwestern Anatolia)* [Conference presentation abstract]. 70th Geological Congress of Turkey, Ankara, Turkey (pp. 520-521). <https://www.researchgate.net/publication/315836432>
- Heinrich, W., & Althaus, E. (1988). Experimental determination of the reaction $4\text{lawsonite} + \text{albite} = \text{paragonite} + 2\text{zoisite} + 2\text{quartz} + 6\text{H}_2\text{O}$ and $4\text{lawsonite} + \text{jadeite} - \text{paragonite} + 2\text{zoisite} + \text{quartz} + 6\text{H}_2\text{O}$. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Monatshefte*, 11, 516- 528.
- Joshi, M., Singh, B. N., & Goel, O. P. (1994). Metamorphic conditions of the aureole rocks from Dhunaghat area, Kumaun Lesser Himalaya. *Current Science*, 67(3), 185-188.
- Kansun, G., & Ökmen, G. (2019). *Güre-Çamlıbel (Edremit-Balıkesir) kuzeyindeki Kazdağ Masifi metamorfitlelerinin stratigrafi, petrografi ve jeokimyası* (SÜBAP No. 10201139). Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü.
- Kansun, G., Afzali, A. O., & Ökmen, G. (2019). *Stratigraphy and petrographical properties of the Kazdağ Massif metamorphites in the north of Güre-Çamlıbel, Edremit-Balıkesir-Turkey*. ISAS Winter 2019, 4th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences Proceedings (pp. 289-315). <https://doi.org/10.36287/setsoci.4.6.080>
- Manning, C. E., & Bohlen, S. R. (1991). The reaction $\text{titanite} + \text{kyanite} = \text{anorthite} + \text{rutile}$ and $\text{titanite}-\text{rutile}$ barometry in eclogites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 109(1), 1-9. <https://doi.org/10.1007/BF00687196>
- Maresch, W. V. (1977). Experimental studies on glaucophane: an analysis of present knowledge. *Tectonophysics*, 43(1-2), 109-125. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(77\)90008-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(77)90008-7)
- Maruyama, S., Suzuki, K., & Liou, J. G. (1983). Greenschist-amphibolite transition equilibria at low pressures. *Journal of Petrology*, 24(4), 583-604. <https://doi.org/10.1093/petrology/24.4.583>
- Maruyama, S., Cho, M., & Liou, J. G. (1986). Experimental investigations of blueschist-greenschist transition equilibria: pressure dependence of Al_2O_3 contents in sodic amphiboles—a new geobarometer. In B. W. Evans, & E. H. Brown (Eds.), *Blueschists and eclogites* (pp. 1-16). The Geological Society of America.
- Okay, A. İ., Siyako, M., & Bürkan, K. M. (1990). Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve tektonik evrimi. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 2(1), 83-121.
- Okay, A. I., Siyako, M., & Bürkan, K. A. (1991). Geology and tectonic evolution of the Biga Peninsula, Northwest Turkey. *Bulletin of the Technical University of Istanbul*, 44(1-2), 191-256.
- Okay, A. I., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R., & Akyüz, S. (1996). Paleo and Neo-Tethyan events in Northwest Turkey: Geological and geochronological constraints. In A. Yin, & T. M. Harrison (Eds.), *The Tectonics Evolution of Asia* (pp. 420-441). Cambridge University Press.

- Okay, A. I., & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. In B. Durand, L. Jolivet, F. Horvath, & M. Seranne (Eds.), *The Mediterranean Basins, Tertiary Extension within the Alpine Orogen* (pp. 475-515). Geological Society, London, Special Publications.
- Okay, A. I., & Satır, M. (2000). Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey. *Geological Magazine*, 137(5), 495-516. <https://doi.org/10.1017/S001675680004532>
- Okay, A. I. (2008). Geology of Turkey: a synopsis. *Anschnitt*, 21, 19-42.
- Otsuki, M., & Banno, S. (1990). Prograde and retrograde metamorphism of hematite - bearing basic schists in the Sanbagawa belt in central Shikoku. *Journal of Metamorphic Geology*, 8, 425-439. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.1990.tb00629.x>
- Özden, S., Över, S., Altuncu Poyraz, S., Güneş, Y., & Pınar, A. 2018. Tectonic implications of the 2017 Ayvacık (Çanakkale) earthquakes, Biga Peninsula, NW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 154, 125-141. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.12.021>
- Pattison, D. R. M., & Tracy, R. J. (1991). Phase equilibria and thermobarometry of metapelites. In D. M. Kerrick (Ed.), *Contact Metamorphism*. De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9781501509612-007>
- Powell, W. G., Carmichael, D. M., & Hodgson, C. J. (1993). Thermobarometry in a subgreenschist to greenschist transition in metabasites of the Abitibi greenstone belt, Superior Province, Canada. *Journal of Metamorphic Geology*, 11(1), 165-178. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.1993.tb00138.x>
- Schuiling, R. D. (1959). Über eine präherzynische faltungsphase im Kazdağ Kristalin. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Bülteni*, 53, 89-93.
- Sorensen, S. S. (1986). Petrologic and geochemical comparison of the blueschist and greenschist units of the Catalina Schist terrane, Southern California. In B. W. Evans, & E. H. Brown (Eds.), *Blueschists and eclogites* (pp. 59-75). The Geological Society of America.
- Şengün, F. (2016). Kazdağ Masifi'nde (Biga Yarımadası) yer alan meta-ofiyolitik kayaların titaniQ termometresi ve rutil iz element bileşimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 59(2), 131-154. <https://doi.org/10.25288/tjb.298197>
- Şentürk, Y. (2005). *Kazdağ Masifi (Balıkesir) metadunit, amfibolit/metagabrolarının jeolojisi ve titan içeriği açısından değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Şentürk, Y., & Ünlü, T. (2009). Kazdağ Masifi (Balıkesir) metaofiyolitinin jeolojisi ve Titan içeriği açısından değerlendirilmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 33(2), 75-115.
- Takasu, A. (1989). P-T histories of peridotite and amphibolite tectonic blocks in the Sanbagawa metamorphic belt, Japan. In J. S. Daly, R. A. Cliff, & B. W. D. Yardley (Eds.), *Evolution of Metamorphic Belts* (pp. 533-538). Geological Society Special Publications.
- Turner, F. J., & Verhogen, J. (1960). *Igneous and metamorphic petrology* (2nd ed.). McGraw-Hill, New York.
- Winkler, H. G. F. (1967). *Petrogenesis of metamorphic rocks* (2nd ed.). Springer-Verlag, New York-Berlin.
- Winkler, H. G. F. (1970). Abolition of metamorphic facies, introduction of the four. Divisions of metamorphic stage, and of a classification based on isograds in common rocks. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte*, 5, 189-248.
- Winkler, H. G. F. (1979). *Petrogenesis of metamorphic rocks* (5th ed.). Springer-Verlag, New York-Berlin.
- Yardley, B. W. D. (1989). *An introduction to metamorphic petrology*. Longman Scientific & Technical, New York.